

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**IMPLEMENTACIÓN DE BANCO DE PRUEBAS PARA
ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON
HORNO DE GRAFITO**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECATRÓNICO**

HANS CARLOS NEIRA FELICIANO

PROMOCIÓN 2007-II

LIMA-PERÚ

2010

A Dios y mi familia por
el invaluable apoyo.

ÍNDICE GENERAL

PRÓLOGO	1
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Objetivo	4
1.3. Alcances	4
1.4. Limitaciones.....	5
1.5. Justificación	5
2. GENERALIDADES DE UN BANCO DE PRUEBAS.....	7
2.1. Condiciones del área del banco de pruebas	7
2.1.1. Espacio de trabajo.....	7
2.1.2. Condiciones ambientales	8
2.2. Espectrofotometría de Absorción Atómica.....	11
2.2.1. Método de Análisis por llama.....	13
2.2.2. Método de Análisis por Horno de Grafito	16
2.3. Sistema de recirculación y enfriamiento de agua	23
2.4. Equipos de protección eléctrica	26
2.4.1. Transformadores de aislamiento	26
2.4.2. Estabilizadores de voltaje	28
2.4.3. Suministro ininterrumpido de energía	30
2.5. Sistema de suministro de gases.....	34
2.6. Sistema de extracción de humos y gases residuales.....	38

3. IDENTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	40
3.1. Fallas y causalidad	40
3.2. Control de Calidad	42
4. IMPLEMENTACIÓN DE BANCO DE PRUEBAS.....	44
4.1. Condiciones del área del banco de pruebas	44
4.1.1. Espacio de trabajo.....	44
4.1.2. Condiciones ambientales	45
4.2. Instalaciones eléctricas	47
4.3. Sistema de suministro de gases.....	54
4.4. Sistema extracción de humos y gases residuales.....	58
4.5. Instalaciones del sistema de recirculación y enfriamiento de agua	61
5. COSTOS.....	63
5.1. Costos Directos.....	63
5.2. Costos Indirectos	64
5.3. Resumen de Costos	64
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES.....	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	68
PLANOS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Espacio de trabajo para un sistema AAS con Horno de Grafito.....	8
Figura 2.2: Ciclo de refrigeración	9
Figura 2.3: Equipo de aire acondicionado tipo split.....	11
Figura 2.4: Absorción Atómica con haz simple	14
Figura 2.5: Absorción Atómica con doble haz	14
Figura 2.6: Curva de calibración	15
Figura 2.7: Inyección de Muestra Caliente y Fría.....	19
Figura 2.8: Variación en el pico de absorbancia con el flujo de gas.....	22
Figura 2.9: Recirculador de agua para aplicaciones de Laboratorio.....	24
Figura 2.10: Ciclo de refrigeración utilizado en el chiller.....	26
Figura 2.11: Transformador de aislamiento monofásico	27
Figura 2.12: Transformador de aislamiento trifásico	27
Figura 2.13: Estabilizador de voltaje de estado sólido	28
Figura 2.14: Estabilizador de voltaje ferroresonante.....	29
Figura 2.15: Tensión de salida vs tensión de entrada	30
Figura 2.16: Esquema de bloques de un UPS Offline	31
Figura 2.17: Esquema de bloques de un UPS interactivo	32
Figura 2.18: Esquema de bloques de un UPS ONLINE	33
Figura 2.19: Señalización gas acetileno	35
Figura 2.20: Central de control de gases	38
Figura 2.21: Bosquejo de instalación de campana extractora de gases.....	39
Figura 3.1: Resultados de control de calidad del Equipo.....	43
Figura 4.1: Dimensiones del ambiente y mesa de trabajo	44

Figura 4.2: Ubicación del equipo de aire acondicionado (unidad interna)	46
Figura 4.3: Bosquejo de Tablero eléctrico exclusivo para banco de pruebas	50
Figura 4.4: Pozo a tierra con helicoidal de cobre 25mm ²	52
Figura 4.5: Diagrama de instalación de líneas estabilizadas.....	53
Figura 4.6: Purificador de gas Parker Balston 73-100 AA - Dimensiones	55
Figura 4.7: Posición de cilindros de gases especiales para AAS.....	57
Figura 4.8: Reguladores de línea en punto de uso.....	58
Figura 4.9: Medidas de campana extractora.....	59
Figura 4.10: Vista frontal y de planta – Instalación campana extractora.....	60
Figura 4.11: Vista de planta – tubería para Chiller.....	62
Figura 4.12: Vista posterior – tubería para Chiller.....	62

PRÓLOGO

La finalidad de este informe es presentar la implementación de un banco de pruebas que permita y asegure el correcto funcionamiento de un Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica y su accesorio Horno de Grafito, el cual es el equipo de comercialización principal de una Empresa Provedora de equipos de Laboratorio. La implementación de este Banco de Pruebas permitirá realizar controles de calidad de equipos nuevos para ejecución de garantías y diagnósticos de equipos defectuosos aislando el problema considerando solo los inconvenientes del equipo y no el probablemente causado por factores externos al mismo.

En el primer capítulo se presenta los antecedentes, objetivos y alcances del presente informe, donde se menciona de forma general la necesidad de contar con un banco de pruebas.

En el segundo capítulo presentamos generalidades correspondientes a un banco de pruebas, tales como las condiciones del área del banco de pruebas, características y principio de funcionamiento de un espectrofotómetro de absorción atómica y otros equipos e instalaciones requeridas en el banco de pruebas.

En el tercer capítulo se realiza la identificación y planteamiento del problema donde se analiza diversos problemas, lo cual da un sustento a la necesidad de implementar un banco de pruebas para espectrofotómetros de absorción atómica y horno de grafito.

En el cuarto capítulo se realiza el desarrollo de la implementación del banco de pruebas para el Espectrofotómetro de Absorción Atómica con Horno de Grafito donde se detalla las condiciones del área, instalaciones eléctricas, suministro de gases, sistema de extracción y sistema de recirculación de agua.

En el cuarto capítulo se presentan los costos directos e indirectos correspondientes al banco de pruebas donde se mostrarán alternativas para el sistema eléctrico.

Finalmente, las conclusiones y recomendaciones brindarán un alcance sustentado de lo que implica la realización de un banco de pruebas para equipo espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La espectrometría de absorción atómica es una técnica para determinar la concentración de un elemento metálico determinado en una muestra. Puede utilizarse para analizar la concentración de más de 62 elementos metálicos en una solución. Aunque la espectrometría de absorción atómica data desde el siglo XIX, la comercialización de los equipos conocidos como Espectrofotómetros de Absorción Atómica se da recientemente a partir de 1950. Desde entonces a la actualidad se ha ido mejorando y renovando la tecnología en estos equipos lo cual ha permitido desarrollar equipos cada vez más sensibles y precisos acordes a la necesidad del mercado.

Contar con Espectrofotómetros de Absorción Atómica cada vez más sensibles y precisos demanda contar con instalaciones de laboratorio más exigentes y específicas para su correcto funcionamiento y durabilidad.

Una empresa proveedora de estos equipos en el Perú ha instalado diversos Espectrofotómetros de Absorción Atómica en distintos laboratorios, encontrando en ellos algunos inconvenientes para lograr el correcto funcionamiento de estos equipos, sin embargo, esta empresa proveedora no cuenta aún con un banco de pruebas propio que permita realizar controles de calidad, ensayos de rendimiento y diagnósticos de falla.

1.2. Objetivo

El objetivo de este informe es implementar un Banco de Pruebas que asegure el correcto funcionamiento de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica con Horno de Grafito.

1.3. Alcances

- a. Se determinarán los equipos de protección eléctrica necesarios para el Sistema Espectrofotómetro de Absorción Atómica con Horno de Grafito.
- b. Se determinarán las condiciones necesarias del ambiente y de los gases para el funcionamiento del Sistema.
- c. Se tomará como referencia las normas ISO 17025, Código Nacional de Electricidad y NEC 250.

1.4. Limitaciones

- a. No se profundizará en temas químicos analíticos.
- b. Se tomará en cuenta que la capacidad eléctrica instalada de la empresa donde se implementará el banco de pruebas es superior a la requerida por el mismo.
- c. El banco de pruebas solo corresponde a Sistemas Espectrofotómetros de Absorción Atómica con Horno de Grafito con un consumo máximo de 50 amperios.
- d. El banco de pruebas a implementar no corresponde a otros equipos de laboratorio tales como ICP ópticos o ICP masa, entre otros, que son de mayor grado analítico y con condiciones más exigentes.
- e. La implementación corresponde a un banco de pruebas en la costa peruana.

1.5. Justificación

El Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica es el Equipo que constituye la línea principal de la Empresa, por lo que se cuentan con riesgos diversos respecto a este equipo. Con el presente informe se podrá realizar la implementación de un Banco de Pruebas para Espectrofotómetro de Absorción Atómica con Horno de Grafito y así lograr lo siguiente:

Diagnosticar Equipos Importados nuevos antes de la entrega al cliente final, evitando así fuertes penalidades en el caso que el equipo llegue con algún desperfecto.

Realizar controles de calidad de los equipos recientemente importados, ejecutando la garantía con el fabricante en caso de no cumplir con los requisitos mínimos necesarios.

Realizar diagnósticos para mantenimientos correctivos por fallas mayores de equipos de los clientes y determinar si la falla fue causada por las instalaciones del cliente o propia del equipo, ejecutando así correctamente la garantía ofertada.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES DE UN BANCO DE PRUEBAS

2.1. Condiciones del área del banco de pruebas

2.1.1. Espacio de trabajo

Uno de los factores más importantes antes de la instalación de un espectrofotómetro de absorción atómica (AAS) con horno de grafito es el espacio de trabajo. Éste debe ser un área no contigua a zonas de alto tránsito de personas, tales como pasillos u otras áreas ajenas a la actividad a realizar con el espectrofotómetro.

El sistema debe ser instalado en un banco suficientemente robusto y a una altura suficiente para contar con acceso a las conexiones de gas y conexiones eléctricas durante la instalación y los servicios de mantenimiento; también es importante un espacio para la ventilación. En el caso de un espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito debe contarse con un banco con del tamaño mínimo siguiente:

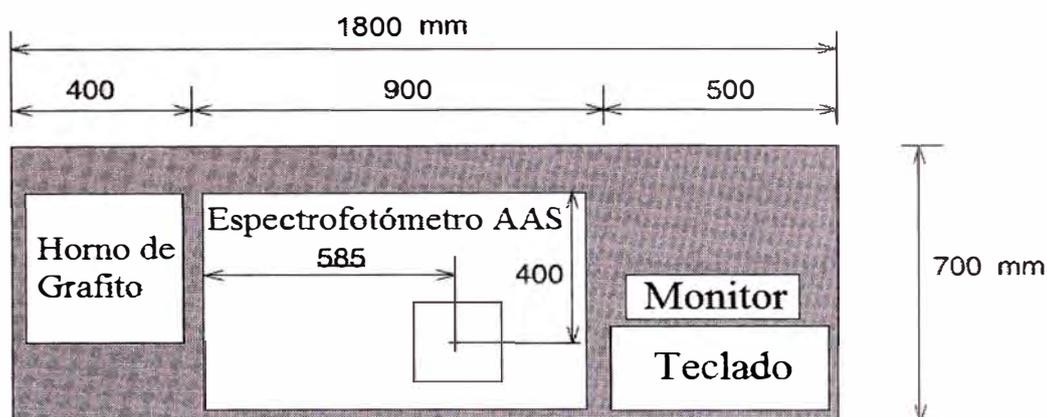


Figura 2.1: Espacio de trabajo para un sistema AAS con Horno de Grafito

2.1.2. Condiciones ambientales

De acuerdo a lo mencionado en la norma NTP-ISO/IEC 17025, el laboratorio debe monitorear, controlar y registrar las condiciones ambientales como lo requieran las especificaciones, métodos y procedimientos pertinentes o donde estos influyan en la calidad de los resultados. Debe prestarse atención, por ejemplo, a la esterilidad biológica, polvo, interferencia electromagnética, radiación, humedad, suministro eléctrico, temperatura, y a los niveles de sonido y vibración, según sea apropiado a las actividades técnicas concernientes. Debe detenerse la ejecución de ensayos y calibraciones cuando las condiciones ambientales pongan en riesgo los resultados de los ensayos y/o calibraciones.

De acuerdo al fabricante de los equipos de Absorción Atómica el rango de temperatura aceptable es entre 10 a 35°C (estable) con una humedad relativa de 8 a 80%. Esta es una razón adicional por la cual debe permanecer esta área fuera de zonas de alto tránsito para evitar romper la estabilidad térmica del equipo y lograr lecturas con repetibilidad.

Para conseguir estas condiciones existen diversas estrategias: Reducir las ganancias de calor en el interior (detener la radiación solar, maximizar la iluminación natural, reducir las ganancias de calor internas por iluminación artificial y otros equipos) e incrementar las pérdidas de calor exterior (ventilación). Sin embargo, cuando estos principios no son suficientes se utilizan sistemas de refrigeración mecánica.

El sistema de refrigeración mecánica utiliza el proceso de ciclo frigorífico en el que intervienen cuatro componentes:

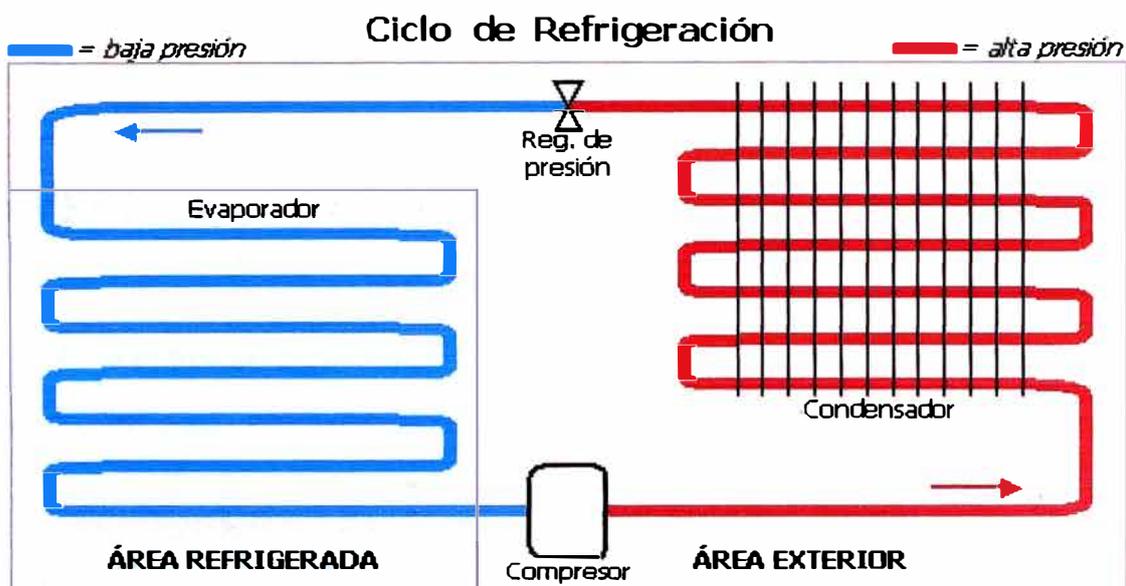


Figura 2.2: Ciclo de refrigeración

Un intercambiador de calor formado generalmente por tubos aletados constituye un evaporador. Dentro de éste circula un fluido a baja temperatura. Este fluido se llama refrigerante y tiene la propiedad de entrar en ebullición a bajas temperaturas y a presiones mayores que la atmosférica. El aire del ambiente a refrigerar se hace pasar por el evaporador por medio de un ventilador y luego ya enfriado se le inyecta al ambiente.

A medida que el refrigerante llega a su punto de ebullición debido a la absorción de calor, se transforma en vapor. Este vapor es tomado por un compresor y comprimido a alta presión. Durante esta compresión, el refrigerante se calienta, llegando a altas temperaturas.

El refrigerante a alta presión es enviado a otro intercambiador de calor viene a ser un condensador. Su construcción es muy similar al evaporador. El refrigerante entra en estado gaseoso y por medio de una corriente de aire exterior fría en relación a la temperatura del refrigerante comprimido, va entregado su contenido de calor al medio exterior. Durante este proceso de pérdida de calor se va condensando, transformándose en líquido.

En este punto se tiene al refrigerante en estado líquido, a alta presión y a una temperatura similar a la del aire exterior, por lo tanto sin condiciones de refrigerar el ambiente interior. Entonces se le hace pasar por un pequeño orificio para que pierda parte de su presión, lográndose así una disminución de la temperatura del refrigerante la cual permite que éste enfríe el aire ambiente interior.

El refrigerante así entra al evaporador, en estado líquido, pronto para absorber el calor del aire ambiente interno y realizar nuevamente el circuito descrito.

El agua producto de la condensación en el evaporador durante el proceso de enfriamiento del aire se debe canalizar hacia un drenaje.



Figura 2.3: Equipo de aire acondicionado tipo split

Para determinar la capacidad del equipo de aire acondicionado requerido se deberá contar con la siguiente información mínima:

- a) Tamaño del área del ambiente (Largo x ancho del área)
- b) Ubicación del área - ambiente
- c) Número de personas que trabajarán
- d) Carga térmica de los equipos dentro del ambiente.

2.2. Espectrofotometría de Absorción Atómica

La historia de la espectroscopía inicia con el uso del lente por Aristófanes a mediados del año 423 AC y el estudio de los espejos por Euclides (300 AC) y Herón (100 DC). Séneca (40 DC) observó las propiedades de la dispersión de la luz en prismas y en los años 100 DC Ptolomeo estudió la incidencia y la refracción.

Alhazen en 1038 estudió la reflexión y la refracción de la luz y en 1250 Roger Bacon determinó los puntos focales de espejos cóncavos.

Alrededor de los años 1600, el telescopio fue desarrollado en Holanda y por 1610, Galileo realizó mejoras en el diseño del telescopio. Sir Isaac Newton (1642-1727) realizó varios experimentos respecto a la separación de la luz para obtener su espectro y los índices de refracción de los diferentes colores de la luz; él aplicó estos principios al telescopio.

Fraunhofer, durante 1814-1815, observó el fenómeno de difracción y fue capaz de medir la longitud de onda en vez de los ángulos de refracción. Herschel (1823) y Talbot (1825) descubrieron la emisión atómica cuando ciertos átomos fueron colocados en una llama. Wheatstone concluyó en 1835 que los metales pueden ser distinguidos uno de otros en base a las longitudes de onda de esta emisión. En 1848, Foucault observó la emisión atómica del sodio y descubrió que el elemento absorbía los mismos rayos de un arco eléctrico.

A fines de 1800, científicos como Kirchoff, Bunsen, Angstrom, Rowland, Michelson y Balmer estudiaron la composición del sol basándose en sus emisiones a longitudes de onda diferentes. Kirchoff resumió la ley que declaró que, “La materia absorbe la luz en la misma longitud de onda en la que emite luz”. Es bajo esta ley que la espectrofotometría de absorción atómica trabaja.

Woodson fue uno de los primeros en aplicar este principio para la detección de mercurio. En 1955, Walsh sugirió el uso de lámparas de cátodo hueco para proveer la emisión de una apropiada longitud de onda; y el uso de una llama para producir átomos neutros que absorbieran esta emisión al pasar a través de una trayectoria. La instrumentación y las aplicaciones para Absorción Atómica se han expandido bastante luego de los años 1950.

Es así que el método más desarrollado ha sido el método de llama y posteriormente se desarrollaron métodos como el horno de grafito, generación de hidruros, concentración de mercurio, entre otros.

2.2.1. Método de Análisis por llama

La espectroscopía de absorción atómica por llama es un método analítico por el cual se determina cuantitativamente la presencia de elementos metálicos presentes en soluciones líquidas. La solución a analizar se rocía en una llama de gas (típicamente aire – acetileno o óxido nitroso – acetileno). El calor rompe los enlaces moleculares y crea una población principalmente de átomos en estado fundamental del elemento de interés. Una haz de luz monocromática de una longitud de onda característica del elemento pasa a través de la llama. La reducción de la intensidad del haz (absorción) es función de la densidad de átomos en estado fundamental presentes en la llama, y por lo tanto de la concentración del elemento en la solución.

La relación entre la reducción de intensidad del haz y la concentración en la muestra es expresada por la ley de Beer-Lambert:

$$\text{Absorbancia} = \log_{10} (I_0/I_t) = K.C.L.$$

Donde : I_0 = intensidad de radiación incidente emitida por la fuente de Luz.

I_t = intensidad de radiación transmitida (cantidad no absorbida).

C = concentración de muestra (átomos libres).

K = constante (puede ser determinada experimentalmente).

L = Longitud de trayectoria.

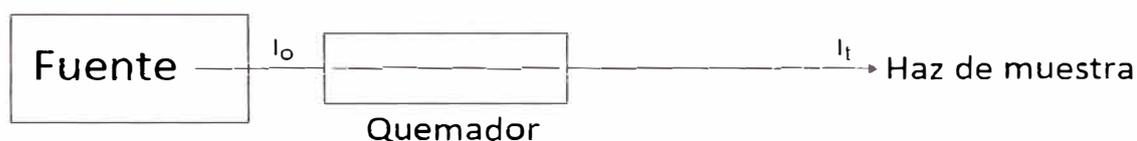


Figura 2.4: Absorción Atómica con haz simple

Los espectrofotómetros más recientes utilizan dobles haz en la óptica, lo cual permite monitorear la intensidad de radiación incidente y la intensidad de radiación transmitida y por lo tanto permite calcular una ABS de manera continua. Esto elimina los efectos por fluctuación de la fuente.

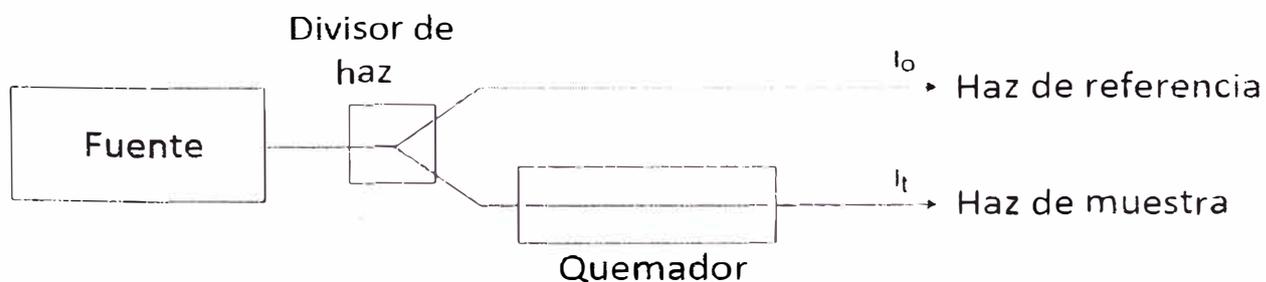


Figura 2.5: Absorción Atómica con doble haz

La absorción atómica es un método comparativo. El operador inicia un análisis realizando una calibración. Ésta consiste en correr un set de soluciones llamadas estándares y graficando una curva de Absorbancia vs Concentración. Esta curva es la gráfica de calibración del espectrofotómetro para el elemento de interés.

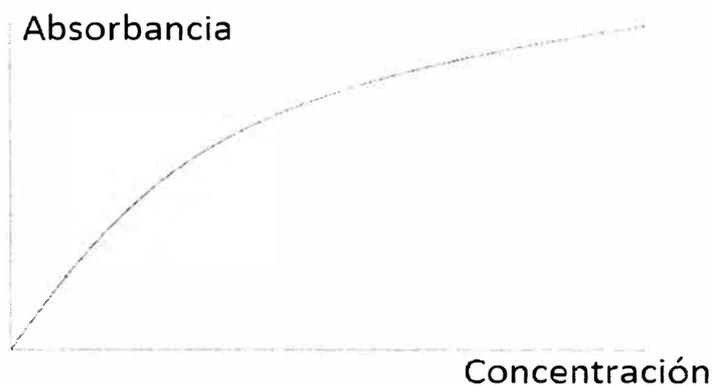


Figura 2.6: Curva de calibración

Cuando se analiza una muestra desconocida, un valor de ABS es determinado, y la concentración puede ser conocida utilizando la curva de calibración. El gráfico típicamente muestra una buena linealidad para bajas concentraciones, luego una curvatura aparece debido a varias interferencias.

El Método de flama es el método de análisis más comúnmente utilizado por los laboratorios, proporciona buena precisión y fácil manejo. Sin embargo, suele requerirse altos volúmenes de muestra y la calidad de resultados puede ser influenciada por las propiedades físicas de la muestra tales como viscosidad y/o presencia de sólidos disueltos. Para evitar inconvenientes que afecten la calidad de los resultados se cuentan con otros métodos adicionales al método de flama.

2.2.2. Método de Análisis por Horno de Grafito

En un horno de grafito un volumen discreto de muestra (entre 1 y 100 μL) es atomizado en una celda pequeña. El área transversal de la celda (ó mas comúnmente llamada, tubo) es suficientemente pequeña para crear una cantidad densa de átomos en la atomización, incrementando la sensibilidad a través de la flama por un factor de 20 – 1000. Las ventajas del método de horno incluyen:

- Alta Sensibilidad.
- Requiere pequeños volúmenes de muestra.
- Uso de la muestra altamente eficiente (sin desperdicio).
- Bajos límites de detección alcanzable.
- La mayoría de las muestras pueden ser analizadas con poco ó sin pre-tratamiento.

Dependiendo del elemento a analizar en la muestra es importante conocer el tipo de tubo de grafito a emplear y el programa de temperaturas requerido para dicho elemento, lo cual describimos a continuación:

Tubos de Grafito

Muchos materiales diferentes han sido investigados para su uso en atomizadores electrotérmicos, pero ninguno de ellos ha sido tan eficiente como el tubo de grafito recubierto piroliticamente. Sus características son:

- Baja porosidad.
- Químicamente inerte.

- Bajos niveles de impurezas metálicas.
- Buena conductividad eléctrica y térmica.
- Alta rigidez.
- Alto punto de fusión (material refractario).
- Costo razonable.
- Buena maniobrabilidad.
- Baja expansión térmica.

El Grafito como material del horno responde bien a estos criterios, pero los problemas se presentan con la porosidad y lo químicamente inerte.

Recubriendo piroliticamente el tubo, se evita que la muestra se deteriore a través de la superficie del tubo, de esta manera se reduce el efecto memoria. Esto reduce también el riesgo de formación de carburo, un problema asociado a menudo con los elementos refractarios.

El recubrimiento en si mismo, usualmente 30 μm de espesor es aplicado por descomposición térmica un hidrocarburo de bajo peso molecular como el metano (en su estado de vapor).

La oxidación del carbono es probablemente el obstáculo más significativo en cualquier diseño de horno de carbono. Una vez que es calentado a altas temperatura, los óxidos del carbono son fácilmente formados, creando a menudo, problemas en la vida útil del tubo. Dos gases inertes como el argon y el nitrógeno son usados comúnmente para crear un efecto protector alrededor de los componentes del carbono. El nitrógeno es más comúnmente usado debido a su relativo bajo costo.

pero los componentes del nitruro pueden ser formados con algunos elementos (por ejemplo; B, Ba V). El Argón debe ser usado con estos elementos.

El tiempo de vida útil del tubo también depende de la naturaleza de la matriz, y de la temperatura de la atomización usada. A mayor temperatura, mas susceptibilidad del tubo a la oxidación. Similarmente, las soluciones altamente ácidas (por ejemplo; ácido perclórico, ácido fluorhídrico) o agentes oxidantes dentro de la muestra, causaran que la superficie se deteriore.

Desarrollo del Programa de Temperatura

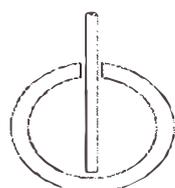
El desarrollo del programa de temperatura para el análisis en horno de grafito puede ser categorizado en 3 etapas principales, es decir; secado, calcinado y atomizado de la muestra.

Secado

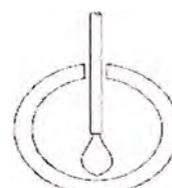
Para esta etapa puede ser usado 2 métodos. Para muestras acuosas, la inyección puede ser hecha a una temperatura elevada (120° C).Aquí el capilar esta programado para hacer contacto con el fondo del tubo y la muestra es secada al hacer contacto con la superficie, (volatilización instantánea). Este método también puede ser aplicado para las soluciones orgánicas ó soluciones altamente ácidas, donde la muestra tiende a salir del tubo debido a la baja tensión de superficie.

El segundo método comprende una inyección a temperatura ambiente y un incremento lento a través de la temperatura de evaporación. Este método es recomendado para muestras de matrices complejas. En una matriz de cloruro de sodio, el agua puede ser llevada y transportada en el cristal.

Una inyección caliente causará una rápida expansión del agua dentro del cristal, explotando posteriormente el cristal y perdiendo la muestra. Esta muestra debe ser secada y calcinada a través de una serie de fases, asegurando un cambio uniforme y la evaporación del solvente. Las partículas pueden ser expulsadas y la sensibilidad se verá afectada si se esparce o se forma espuma.



Inyección Caliente



Inyección Fría

Figura 2.7: Inyección de Muestra Caliente y Fría

Calcinado

Dependiendo de la complejidad de la matriz, la etapa de calcinado puede ser el área más difícil de refinar. En el caso más simple, un conocimiento de los componentes de la matriz individual puede ayudar en la predicción de sus comportamientos. El material de referencia citado acerca del derretido y temperaturas de evaporación está fácilmente disponible.

Las medidas sucesivas deberían ser usadas para incrementar las temperaturas del calcinado mientras se observa la absorbancia de la muestra a analizar (medida durante la etapa de atomizado). La temperatura óptima de calcinado es usualmente la más alta que puede ser usada sin reducir la absorbancia de la muestra a analizar. El índice de aumento durante la etapa de calcinado debería ser escogida tanto como para evitar reacciones violentas o liberación excesiva de humo.

Para matrices desconocidas más difíciles, el calcinado puede ser bastante complejo, involucrando pruebas y desarrollo del error del método. Cuando ocurre la volatilización de la matriz a la misma temperatura de la atomización de la muestra a analizar, la modificación de la matriz puede ser usada ya sea para incrementar o disminuir el calcinado o la temperatura de atomización. Los elementos volátiles como en Cd, Zn y el Pb, existentes como cloruros, pueden ser fácilmente desaparecidos durante una baja temperatura de calcinado pero ellos son estables a mucho más altas temperaturas en la forma de óxidos ó hidróxidos.

Por ejemplo $PbCl_2$ es volátil alrededor de los $500^\circ C$, mientras que el $Pb(NO_3)_2$ es estable a $800^\circ C$. si esto es no es posible retire la matriz completamente durante la etapa de calcinado, la corrección de fondo(background) puede ser usada, siempre que el nivel del background no exceda las 2 unidades de absorbancia.

Para soluciones acuosas, no se requiere calcinado extenso pero en una etapa intermedia es recomendado proporcionar un punto de partida para iniciar la atomización. (Máximo índice de aumento es $2000^\circ C/seg$). La etapa intermedia no debería exceder la temperatura máxima del calcinado para el elemento.

Atomizado

La temperatura de atomización variara dependiendo del elemento que esta siendo analizado, y normalmente deberían ser seguidas las temperaturas recomendadas en la Tabla 5. El índice de aumento optimo también varia con el elemento. La mayoría de elementos muestran una sensibilidad máxima a $2000^\circ C/seg$ pero algunos (por ejemplo; Plomo) exhibirán mejores resultados a la mitad de este índice.

También debe ser examinado un ajuste entre la temperatura de atomización y la vida útil del tubo. Idealmente es seleccionada la temperatura mas baja que muestra una buena sensibilidad, porque a alta temperatura, la oxidación de la superficie del carbono será acelerada. El control de tiempo de la atomización también debería ser considerada. El control de tiempo largos innecesariamente a alta temperatura, también reducirá la vida útil del tubo.

Modo de Medición

El tipo de modo de medición también será parte y dependiente de la matriz. La elección de la altura y el área del pico son usualmente decididas por el modo que da mejor precisión y exactitud para tal aplicación en particular. El área del pico mostrara bastante a menudo una mejor linealidad de calibración. El modo de área de pico muestra a menudo menos interferencia química y es usualmente usada con la plataforma de grafito pirolítico.

Selección del Flujo de Gas

Un gas inerte, normalmente nitrógeno o argon, es usado para proteger el grafito de una atmósfera altamente oxidante, y para retirar varios componentes de muestra durante el programa. Un gas inerte debe estar siempre seleccionado durante las etapas de secado y calcinado. Una parada del gas inerte es usualmente usada en la etapa de atomización para asegurar el suficiente tiempo de permanencia de los átomos en el trayecto de la luz. El tiempo de detención del gas debería ser minimizado para prevenir que el aire ingrese al tubo.

El argón, bastante a menudo, puede producir mejor sensibilidad para elementos en particular. Esto es debido a los diferentes procesos iniciados por los dos gases.

Flujo de Gas reducido durante la Atomización

Cuando la sensibilidad es demasiado alta, la selección del flujo de gas durante la atomización, reducirá la sensibilidad arrastrando los átomos del tubo rápidamente. Este flujo reducido puede ser seleccionado programando el gas AUXILIAR de 1-2 segundos antes y durante los pasos de la atomización, de esta manera usted puede usar el flujo de gas normal durante las etapas de SECADO Y CALCINADO.

La Figura 2.8. muestra la variación en el pico de absorbancia con el flujo de gas para 3 elementos: Pb (un elemento volátil), Cu (un elemento con temperatura de atomización intermedia) y V (un elemento refractario).

La máxima sensibilidad es obtenida con una detención de gas durante la etapa de atomizado.

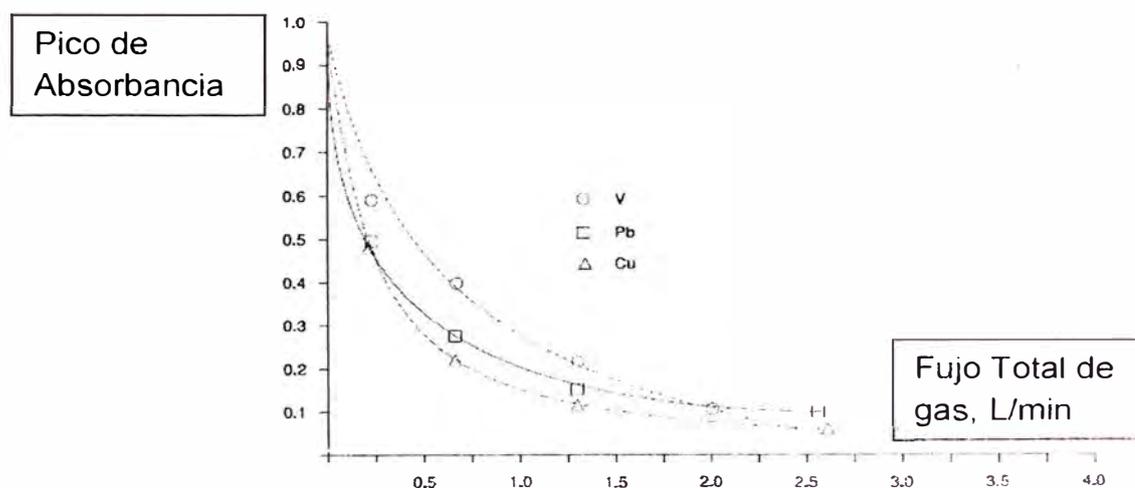


Figura 2.8: Variación en el pico de absorbancia con el flujo de gas

2.3. Sistema de recirculación y enfriamiento de agua

Un Chiller (o enfriador de agua) es un aparato industrial que produce agua fría para el enfriamiento de procesos industriales. La idea consiste en extraer el calor generado en un proceso por contacto con agua a una temperatura menor a la que el proceso finalmente debe quedar. Así, el proceso cede calor disminuyendo su temperatura y el agua, durante el paso por el proceso, la eleva. El agua ahora "caliente" retorna al chiller donde nuevamente se reduce su temperatura para ser enviada nuevamente al proceso.

Un chiller es un sistema completo de refrigeración que incluye un compresor, un condensador, evaporador, válvula de expansión (evaporación), refrigerante y tuberías, además de bomba de impulsión de agua a/desde el proceso, sistema electrónico de control del sistema, depósito de agua, gabinete, etc.

Distintos procesos requieren alimentarse con distintos caudales, presiones y temperaturas de agua. El agua se puede enfriar a temperaturas finales que alcanzan los 20C o inclusive temperaturas negativas con la adición de anticongelantes, como por ejemplo -20C (20C bajo cero).

Algunas aplicaciones más comunes de los chillers son:

- La industria plástica: Enfriador del plástico caliente que es inyectado, soplado, extruido o sellado.
- La industria de la impresión: Rodillos templados enfriados debido a la fricción y hornos que curan la tinta, junto con las lámparas ultravioletas también para los propósitos de curado.

- La industria HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado): A gran escala los sistemas de aire acondicionado bombean el agua enfriada a las serpentinas en áreas específicas. Los sistemas de manejo de agua para cada área abren y cierra el flujo de agua a través de áreas específicas manteniendo el aire en los cuartos a la temperatura deseada.
- La industria del corte con láser: la tecnología ha creado máquinas que pueden cortar productos de acero muy específicos con el uso preciso de máquinas de corte con láser. Este láser opera a temperaturas muy altas y debe ser enfriado para funcionar correctamente.
- Laboratorio con aplicaciones que generan altas temperaturas: Para la atomización de la muestra por el método de horno de grafito se genera una alta temperatura en los tubos de grafito (hasta los 3,000°C), es por ello que se requiere enfriar este sistema para garantizar su funcionamiento por largos periodos de tiempo.



Figura 2.9: Recirculador de agua para aplicaciones de Laboratorio

Principio de funcionamiento

El chiller básicamente opera como lo indica el ciclo de Carnot: un fluido refrigerante (usualmente conocido a través de la marca comercial Freón) en estado líquido, se fuerza a experimentar su evaporación debido a una baja de presión en el sector conocido como evaporador adonde además y fundamentalmente, toma calor del agua con la que indirectamente se pone en contacto. Es exactamente en ese lugar adonde se produce el enfriamiento propiamente dicho del agua.

Luego el agua sigue camino al proceso por su circuito y el refrigerante en estado de vapor es comprimido por un compresor frigorífico obligándolo a recorrer el circuito de refrigeración.

Seguidamente el refrigerante, en estado de vapor, ingresa al condensador donde se convierte al estado líquido liberando el calor que sustrajo en el evaporador. Para esto, en el caso de los chiller condensados por aire, el calor sale del refrigerante para pasar al aire ambiente por acción de unos ventiladores que fuerzan al aire a intercambiar con el refrigerante.

En resumen, en el evaporador, el agua se enfría (baja su temperatura) mientras que el refrigerante se calienta (se evapora sin cambio de temperatura) en la exacta misma medida. Después, en el condensador, el refrigerante vuelve al estado líquido cediéndole calor al aire ambiente (que eleva su temperatura). Esta liberación de calor, al efectuarse en un lugar distinto al original (enfriamiento del agua), consigue un efecto neto de "movimiento de calor" del proceso al ambiente.

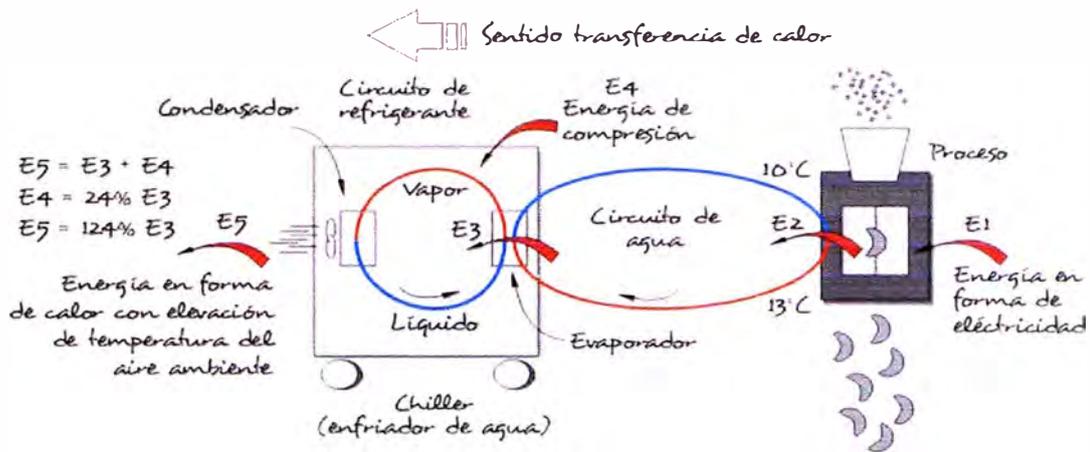


Figura 2.10: Ciclo de refrigeración utilizado en el chiller

2.4. Equipos de protección eléctrica

Existen diversos equipos de protección eléctrica, entre ellos podemos mencionar a los siguientes:

- Transformador de aislamiento.
- Estabilizadores de voltaje.
- UPS (Uninterruptible Power Supply).

2.4.1. Transformadores de aislamiento

El transformador de aislamiento separa eléctricamente la red de suministro que provee una determinada empresa de la carga a proteger. Éste entregará una tensión normalizada de acuerdo a lo descrito en la NORMA NEC 250 donde se describe los valores de tensión en un punto de alimentación para la reducción ruido eléctrico en equipos electrónicos sensibles.

Si los equipos electrónicos no contaran con una alimentación normalizada, serían afectados en su tiempo de vida útil.

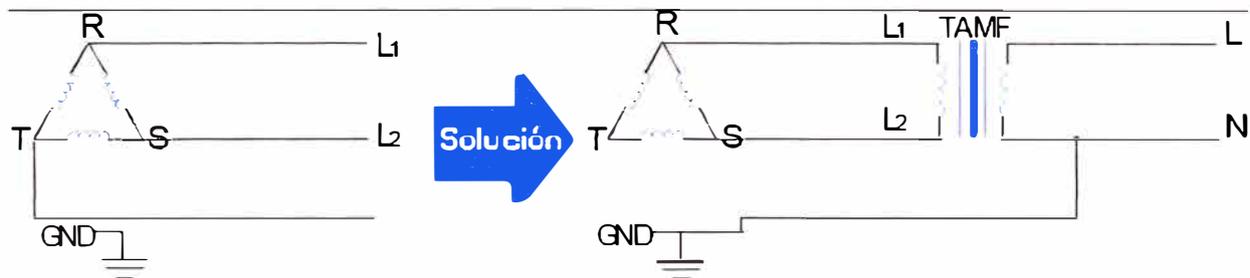


Figura 2.11: Transformador de aislamiento monofásico

Con el transformador de aislamiento se logra obtener la línea viva, neutro y tierra. Si se contara con un suministro monofásico o trifásico y se cuenta con aplicaciones menores a 15KVA puede instalarse un transformador de aislamiento con relación 1:1 a una fase y luego unir N y GND, obteniendo en el secundario, 0 V entre N y GND y 220 VAC entre L y N, L y GND.

En el caso del transformador de aislamiento trifásico tenemos lo siguiente:

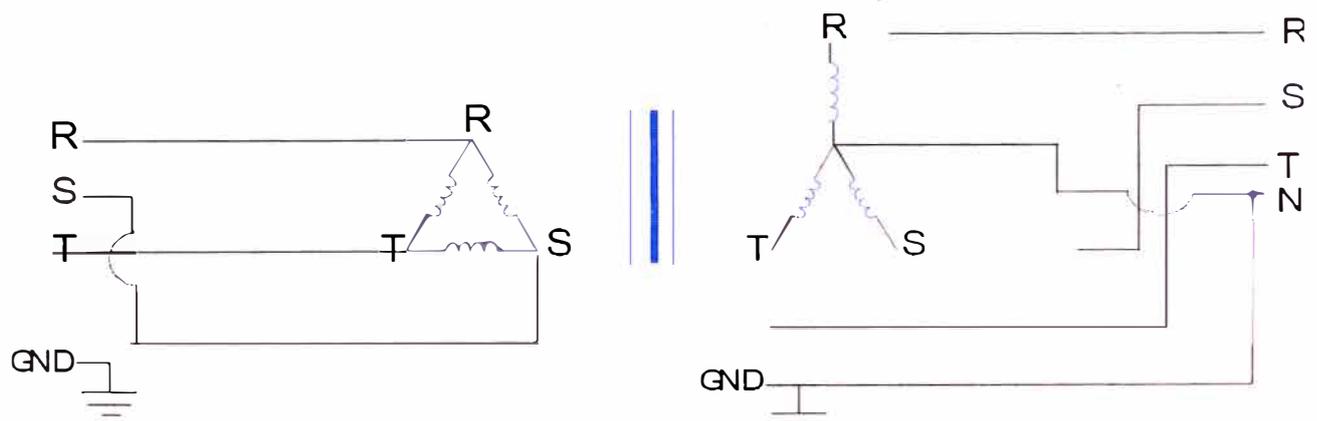


Figura 2.12: Transformador de aislamiento trifásico

Entrada: 3 x 220 VAC en delta

Salida: 3 x 380 VAC en + N en estrella

Luego puede ir a un tablero de 4 barras; 3 fases + 1 Neutro, que permitirá repartir las cargas de manera adecuada (RS, SN, TN = 220VAC; RS, ST, TR = 380VAC).

2.4.2. Estabilizadores de voltaje

Los estabilizadores de voltaje se encuentran diseñados para actuar durante las sobretensiones y subtensiones de entrada que en nuestro país pueden llegar a ser muy variables. Estos se encargan de adecuar el voltaje de entrada a una salida de 220 VAC +/- un valor porcentual según requerimiento del equipo electrónico.

Existen diversas tecnologías de estabilizadores de voltaje los cuales pueden ser híbridos, de estado sólido, ferroresonante o servomotor. La selección de uno de ellos dependerá de la aplicación que se requiera.



Figura 2.13: Estabilizador de voltaje de estado sólido



Figura 2.14: Estabilizador de voltaje ferroresonante

Principios de Funcionamiento de estabilizador ferroresonante

El Transformador Ferrorresonante es un sistema que mantiene energía almacenada en forma oscilante, que pulsa como un péndulo, a la misma frecuencia y en fase con la tensión de línea. Cuando se produce un micro-corte en la entrada, el "péndulo empuja" liberando la energía almacenada (compensación), filtrando así, el imprevisto.

Este Sistema Oscilante tiene una alinealidad muy deseable: si la tensión de entrada varía mucho, la de salida variará muy poco. Esto se consigue mediante un circuito resonante sintonizado a la frecuencia de línea que actúa sobre una sección o "shunt" del transformador.

El primario del mismo opera en modo lineal y la acción del "regulador shunt" controla la cantidad de flujo magnético que llegará al secundario, estabilizando así, la tensión de salida.

El mismo circuito sintonizado, filtrará además la tensión, entregando una onda senoidal en la salida.

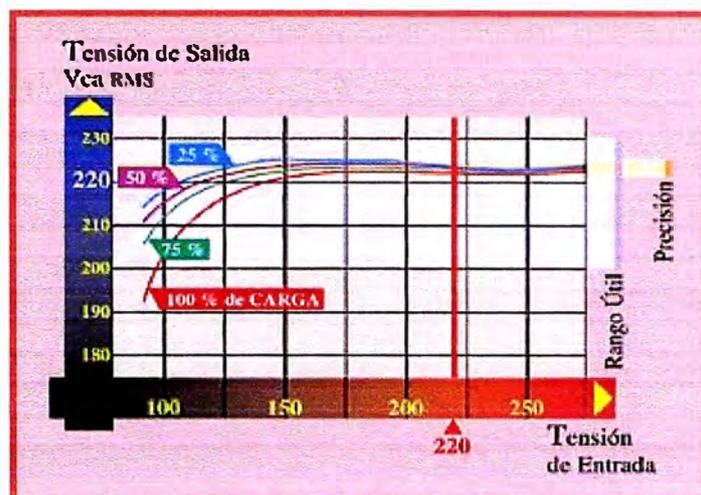


Figura 2.15: Tensión de salida vs tensión de entrada

Posee aislamiento galvánico entre la entrada y la salida, eliminando totalmente el riesgo de electrocución. Cuenta con una pantalla electrostática, la cual minimiza el acoplamiento capacitivo, bloqueando ruidos espúreos de línea. Debido a estos elementos, se suprimen prácticamente todos los ruidos que ingresan por la línea en modo común, normal y transversal.

2.4.3. Suministro ininterrumpido de energía

La función de un UPS (Uninterruptible Power Supply - Sistema de suministro ininterrumpido de energía) o SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida), es la de alimentar con corriente alterna equipos que por la importancia de su función requieren una alimentación de alta calidad y confiabilidad. Estos equipos son conocidos como “cargas críticas” y pueden ser redes de

computadoras, sistemas de telecomunicaciones, equipos electromédicos, equipos sensibles de laboratorio, sistemas de control para la industria, entre otros.

Describiremos a continuación tres tipos de UPS: Offline, Interactivo y Online.

UPS Offline

El UPS Offline, llamado de esta manera para distinguirlo de los UPS Online, o también conocido como UPS Standby es el UPS de diseño más simple y menos costoso. Incluso algunos usuarios suelen no considerarlo un UPS, llamándolo Suministro de Energía de Respaldo (SPS – Standby Power Supply).

En este tipo de UPS la fuente principal de suministro de energía es de la red de entrada, y la fuente secundaria de suministro de energía es la batería. Es decir, la batería y el inversor se encuentran normalmente desactivados. El cargador de batería utiliza la energía de la red de entrada para cargar la batería y la batería y el inversor esperan hasta que son requeridos. Cuando se pierde la energía de la red de entrada, el interruptor de transferencia cambia a la fuente secundaria de suministro de energía. Cuando la retorna la energía en la red de entrada, el switch de transferencia regresa.

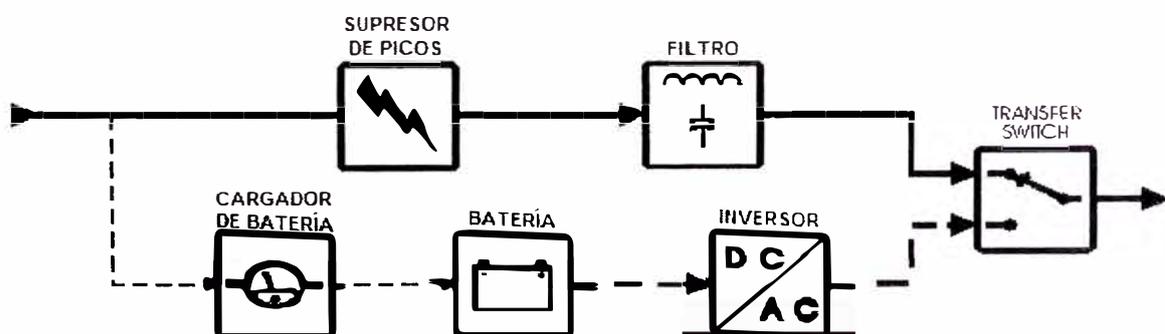


Figura 2.16: Esquema de bloques de un UPS Offline

UPS Interactivo

El UPS interactivo consta de un interruptor de transferencia, un sistema inversor/cargador y un banco de baterías. Cuando se cuenta con alimentación principal el interruptor de transferencia se encuentra cerrado y la carga se alimenta directamente de la tensión de entrada de la red. En este caso el sistema inversor/cargador permite el paso de tensión a la salida y realiza la carga de las baterías. Cuando se pierde la alimentación de la red el interruptor de transferencia se abre y el sistema inversor/cargador toma la tensión D.C. de las baterías y la transforma en tensión A.C.

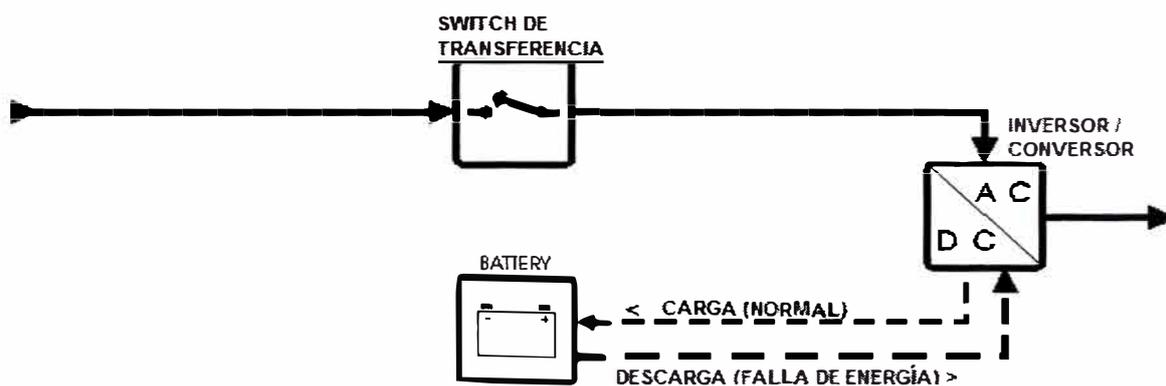


Figura 2.17: Esquema de bloques de un UPS interactivo

El sistema recibe el nombre de UPS interactivo debido a que el sistema inversor/cargador es bidireccional, es decir, funciona como inversor y también como cargador sin tener estos dos sistemas separados. Algunos modelos de UPS interactivos cuentan con un regulador de tensión para la red de entrada.

UPS Online

El UPS Online o UPS “verdadero” (“True” UPS) es denominado de doble conversión porque toma la tensión A.C., la transforma en D.C. para cargar las baterías y energizar el inversor quien finalmente transforma nuevamente la tensión a A.C.

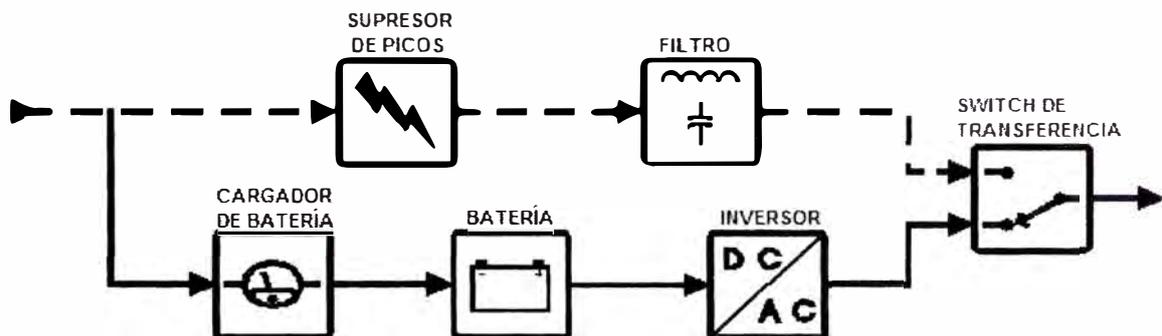


Figura 2.18: Esquema de bloques de un UPS ONLINE

Cuando se cuenta con energía de la red, el cargador alimenta las baterías (cargándolas) y al inversor. El inversor transforma la tensión D.C. en A.C. y alimenta la carga. En ausencia de energía de la red, el cargador se deshabilita y las baterías energizan el inversor y éstos alimentan la carga. De esta manera, incluso cuando hay un corte de energía, la tensión que alimenta la carga siempre es generada por el inversor. El bypass es una vía alterna de alimentación para la carga en caso falle el inversor o que se presente una sobrecarga.

2.5. Sistema de suministro de gases

Los balones de gases especiales utilizados en los diversos métodos de absorción atómica deben instalarse en áreas distintas a la correspondiente del banco de pruebas; el riesgo de accidentes se reduce cuando no se manipulan los cilindros dentro del lugar de trabajo. Solamente equipos de baja presión y pequeñas cantidades de gases deben permitirse en el lugar de trabajo.

Para la manipulación y almacenamiento de los cilindros de acetileno, óxido nítrico y argón tenemos las siguientes recomendaciones de seguridad:

Cilindros de Acetileno (C₂H₂)

- Almacenar el gas acetileno en cilindros autorizados.
- Utilizar en áreas bien ventiladas, no permitir que la temperatura ambiente sobrepase los 52°C.
- Evitar que los cilindros queden almacenados por mucho tiempo sin utilización. Devolver a presión residual de 25 psi.
- Los cilindros deben ser operados de acuerdo a las instrucciones del proveedor de los mismos.
- Usar equipamiento compatible con el acetileno. No remover las tapas fijas.
- Almacenar separadamente los cilindros llenos y vacíos, en un área de condición no combustible. Protegerlos contra daños físicos. Mantener los cilindros amarrados. No fumar o tener llamas abiertas.

- Mantener el área debidamente señalizada.



Figura 2.19: Señalización gas acetileno

- Debido a sus características particulares el acetileno es disuelto en un solvente (acetona) y almacenado en un cilindro que contiene una masa porosa.

Cilindros de Argón (Ar)

- Almacenar el gas argón en cilindros autorizados.
- Utilizar el gas argón en áreas bien ventiladas, no permitir que la temperatura ambiente sobrepase 52°C. Evitar que los cilindros queden almacenados por mucho tiempo sin utilización. Devolver con presión residual de 25 psi.
- Los cilindros deben ser manipulados de acuerdo a las instrucciones del proveedor. Usar equipamiento compatible con el producto. No remover tapas fijas.
- Almacenar separadamente los cilindros llenos y vacíos. Proteger contra daños físicos. Mantener los cilindros encadenados.
- Solamente deben utilizarse cilindros autorizados por el mismo proveedor del gas.

Óxido Nitroso (N₂O)

- No utilizar grasa o aceite cerca al cilindro ya que el óxido nitroso puede formar mezclas explosivas al exponerse a materiales combustibles, grasa u otros hidrocarburos.
- Debe estar separado de los gases inflamables o de otros materiales inflamables almacenados.
- Los cilindros deben mantenerse por debajo de 50 °C, en un lugar bien ventilado.
- No permitir el retroceso hacia el interior del recipiente.
- Debe prevenirse la filtración de agua al interior del recipiente.
- No fumar cuando se manipula el producto.
- Utilizar solo equipo específicamente apropiado para este producto, para su presión y temperatura.
- Utilizar guantes de seguridad.
- Mantener lejos de fuentes de ignición.
- Asegurar una ventilación adecuada.

Centrales de Gas

Las centrales de gas se usan en los sistemas centralizados de suministro de gas para reducir la alta presión primaria de los cilindros a presiones secundarias manejables. Además es el lugar donde se cambian los cilindros. Pueden considerarse el corazón del sistema central de gas.

Existen con tres tipos comunes de centrales de gas: Simples, dobles y semi-automáticas. Las centrales simples manejan un cilindro o un lote por vez. Las centrales dobles manejan dos cilindros o lotes (o una combinación de ambos) por vez. Cuando el cilindro o lote se encuentra vacío, el cambio debe realizarse manualmente. Las centrales semi-automáticas manejan dos cilindros o lotes por vez. Cuando la presión en un lado (lado primario) llega al valor pre-establecido el distribuidor "cambia" al otro lado. Esto significa que es posible cambiar los cilindros de gas sin interrumpir el flujo de gas. Luego que los cilindros en el lado primario han sido cambiados, se gira la manija y así se cambia del lado secundario (entrega de gas) al nuevo lado primario.

Es posible crear un distribuidor totalmente automático, ya sea con válvulas eléctricas o neumáticas pero debido a que los cilindros igualmente deben cambiarse el costo raramente se justifica.

Control de los gases en el punto de uso

El control de los gases dentro de un banco de pruebas puede realizarse mediante reguladores de paso con doble objetivo; control rápido para el cierre frente a un imprevisto y regulación para obtener la presión adecuada requerida por los equipos.

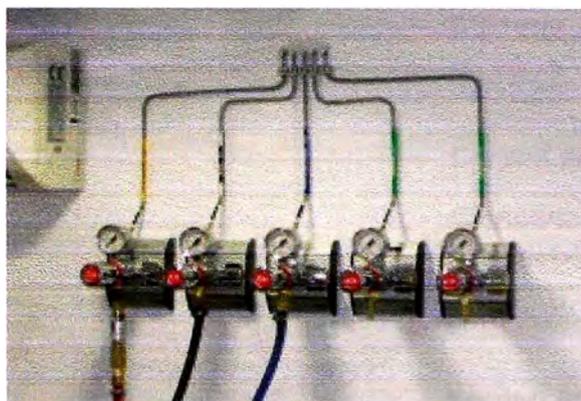


Figura 2.20: Central de control de gases

El material de las tuberías y accesorios puede ser bronce (contenido entre 2 y 22% de cobre) o de acero inoxidable.

2.6. Sistema de extracción de humos y gases residuales

Un sistema de extracción de gases es necesario y se aplica a todos los equipos de absorción atómica. Los fabricantes recomiendan instalar el sistema de extracción sobre el quemador del equipo a una distancia aproximada de 50mm para ventilar todos los productos de la combustión hacia fuera de las instalaciones, los cuales pueden ser gases ácidos residuales, exceso de hollín producto del uso de óxido nítrico, otros gases durante la generación de hidruros con celdas abiertas, entre otros.

Una capacidad de extracción de $6\text{m}^3/\text{min}$ como mínimo es requerida con un dámper para poder regular la eficiencia de salida de los gases sin causar el apagado de la llama en el quemador.

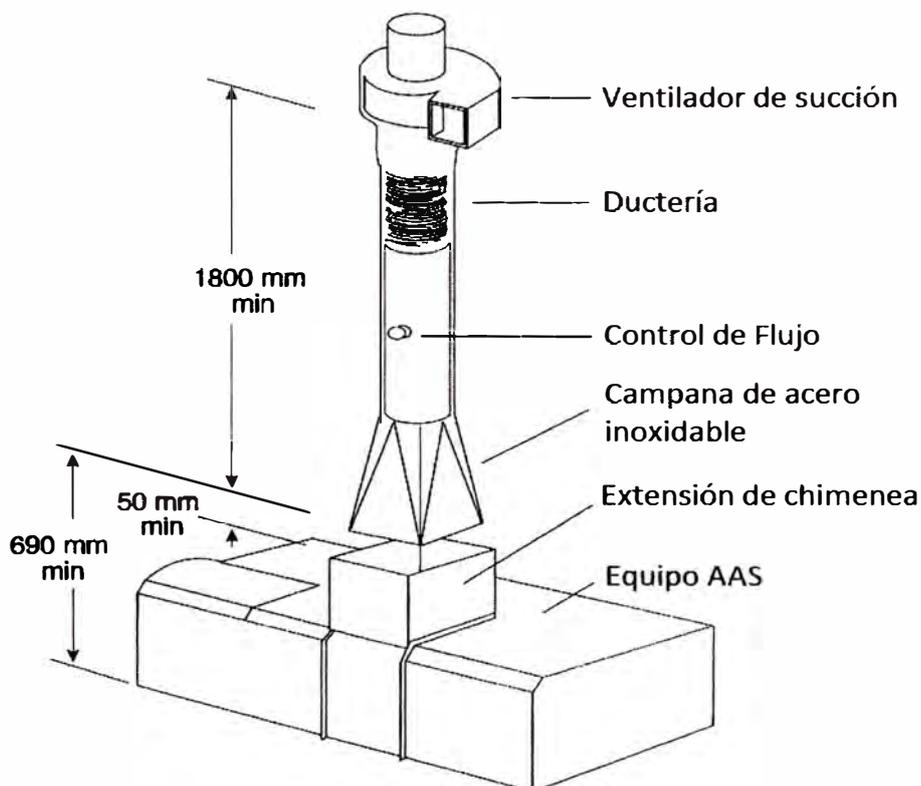


Figura 2.21: Bosquejo de instalación de campana extractora de gases

En la Figura 2.21 se muestra una instalación de ducto de extracción de gases ideal, sin embargo, ésta sufrirá modificaciones de acuerdo al espacio real disponible del ambiente donde se instalará el equipo espectrofotómetro. Estos ductos pueden ser de material aluminio flexible o fabricados con planchas de acero inoxidable.

CAPÍTULO 3

IDENTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Fallas y causalidad

De acuerdo a la experiencia de la empresa se han identificado las fallas y causas más comunes en instalaciones de diversos clientes ocurridas dentro de los dos años de garantía en el periodo del 2004 al 2009 las cuales se muestran a continuación en la Tabla 3.1.

Los Equipos Espectrofotómetros de Absorción Atómica que provee la empresa son de procedencia norteamericana y australiana, por lo que tienen un largo recorrido desde su despacho hasta Lima en Perú. Ya que estos equipos tienen mecanismos de alta precisión, el sufrimiento de golpes durante el traslado podría alterar su correcto funcionamiento, sin embargo, de acuerdo a la Tabla 3.1. presentada, la ocurrencia de falla de fábrica es menor al 1.5% del total de fallas ocurridas.

La mayoría de fallas han sido producidas por deficiencias en las instalaciones de los clientes y no propias del equipo, tal es así, que se ha incurrido poco en la ejecución de la garantía.

Nº	Tipo de falla/error	Causas	Nº de ocurrencias
1	Quemado de tarjeta CPU del equipo (tarjeta principal de control).	Falta de pozo a tierra / resistencia óhmica por encima de 50ohm. Voltaje suministrado muy variable.	14
2	Quemado de tarjeta Analógica del Equipo (tarjeta de encendido de lámparas y súper lámparas de cátodo hueco).	Voltaje suministrado muy variable.	10
3	Falta de repetitibilidad en los resultados.	Inadecuada campana extractora.	8
		Ambiente sin aire acondicionado o aire acondicionado inadecuado.	3
4	Falla de caja de control de gases	Ingreso de aceite de compresora a caja de gases.	6
		Falta de filtros de aire.	4
		Presión de aire muy alta.	1
5	Desviación estándar del patrón fuera de rango	Mal diseño de campana extractora (sin regulación de flujo de extracción) lo cual genera turbulencia en la flama.	7
6	No ignición de flama / apagado intempestivo de la flama.	Presión insuficiente de aire /poca capacidad de compresora.	4
		Obstrucción de salida de acetileno en el equipo por baja pureza del acetileno.	2
7	PC no reconoce Horno de Grafito	Resistencia óhmica del pozo a tierra elevado (>10ohm)	5
8	Horno de Grafito no trabaja	Chiller no brinda la presión adecuada.	1
9	PC no reconoce Equipo AAS	Resistencia óhmica del pozo a tierra elevado (>20ohm)	2
10	Quemado de transformador principal del equipo.	Fuga a tierra de otro y falta de acondicionamiento de pozo a tierra.	1
11	Falla de movimiento vertical horizontal automático del quemador	Falla de fábrica (ejecución de garantía)	1

Tabla 3.1: Fallas y errores con número de ocurrencias.

3.2. Control de Calidad

Si bien las fallas de fábrica tienen una ocurrencia menor al 1.5% el cliente en la mayoría de casos en que ocurre una falla menciona que es falla de fábrica y que debe ejecutarse la garantía. Es difícil sustentar que el equipo antes de ser entregado al cliente cumple cabalmente con todas sus especificaciones de funcionamiento ya que no se realiza un control de calidad del equipo en la empresa proveedora y muchas veces se termina ejecutando la garantía.

De contar con un banco de pruebas en la empresa proveedora se podría realizar un control de calidad del Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica y su accesorio Horno de Grafito antes de ser entregado, demostrando que funciona correctamente, sin fallas de fábrica y sin fallas producidas durante el transporte internacional.

El control de calidad será un sustento de correcto funcionamiento y podrá resumirse en una hoja de verificación de performance donde se indican los parámetros de ruido fotométrico, precisión de slits, precisión de longitudes de onda principales, absorbancia y RSD.

No	Test Description	Criteria	Result	Pass (✓)
1	EHT Photometric Noise (if EHT >350 V)	<350 V Std. Dev <0.0002		
2	Slit Width, 0.2 nm Slit Width, 0.5 nm Slit Width, 1.0 nm	0.2 ± 0.02 0.5 ± 0.05 1.0 ± 0.1		
3	Wavelength Accuracy, Cu Wavelength Accuracy, K	324.8 ± 0.2 766.5 ± 0.2		
4	Gauze Screen Reading * Reading in BC mode without gauze Reading in BC mode with gauze Difference	_____ ± 0.02 <0.02 Abs		
5	ABS Reading on 5 ppm Cu RSD	>0.7 Abs <0.5%		

Figura 3.1: Resultados de control de calidad del Equipo

Por lo expuesto anteriormente, el control de calidad y pruebas preliminares de funcionamiento son necesarios para contar con un sustento de correcto funcionamiento o determinar alguna eventual falla y corregirla antes de entregarla al usuario final. Esta práctica también contribuiría a mejorar la imagen y presencia de la empresa en un actual mercado competitivo.

El control de calidad, pruebas y ensayos preliminares deberán realizarse en un banco de pruebas implementado en concordancia con las especificaciones brindadas por el fabricante y criterios de ingeniería, lo cual es materia del siguiente capítulo.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN DE BANCO DE PRUEBAS

4.1. Condiciones del área del banco de pruebas

4.1.1. Espacio de trabajo

El ambiente para el banco de pruebas será de 2.6m x 1.8m x 2.5m y contará con un ambiente contiguo para la instalación de los balones de gas, compresora de aire, estabilizador y recirculador de agua.

Debido a que el Espectrofotómetro no debe estar afecto a vibraciones se contará con una mesa de concreto recubierta con mayólica cuyas dimensiones serán de 1.9m x 0.7m. Estas dimensiones son ligeramente mayores a la recomendada por el fabricante con el objetivo de contar con más espacio y de ser el caso, poder realizar intervenciones correctivas en el equipo con mayor facilidad.

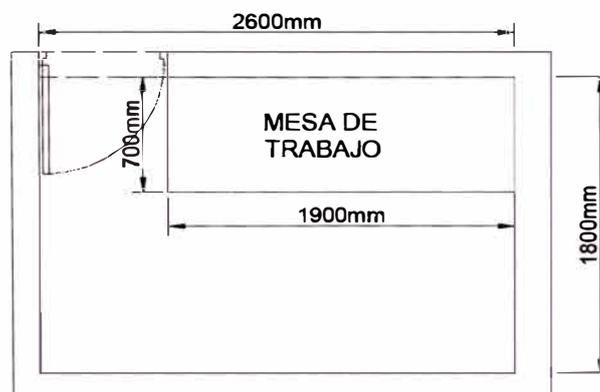


Figura 4.1: Dimensiones del ambiente y mesa de trabajo

4.1.2. Condiciones ambientales

Se está tomando como referencia lo mencionado en la norma NTP - ISO 17025 - Instalaciones y condiciones ambientales, por lo que se instalará un equipo de aire acondicionado para garantizar la confiabilidad de las lecturas del equipo analítico, además el ambiente no contará con ventanas y estará alejado de pasillos de alto tránsito para conservar la estabilidad térmica.

Para la selección del equipo de aire acondicionado se tomará en cuenta lo mencionado por la ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) – Capítulo de Laboratorios – Parámetros de diseño y la guía de selección on-line de la Compañía internacional FPL (Florida Power & Light).

$$\begin{aligned} \text{Ganancia de calor debido al equipo (ASHRAE)} &= (50 \text{ W/m}^2) \times (\text{Área del ambiente}) \\ &= (50 \text{ W/m}^2) \times (2.6\text{m} \times 1.8\text{m}) = 234 \text{ W} \end{aligned}$$

Utilizando el calculador on-line de la compañía FPL ingresamos los siguientes datos:

Tamaño del área del ambiente (4.68 m²)

Ubicación geográfica referencial del área (Lado este del sur de la empresa)

Número de personas (2 personas)

Y obtenemos 1,464 W

En total se requerirá una capacidad de refrigeración de 1,698 W.

La capacidad comercial corresponde a 2,500 W, por lo que se instalará un equipo de aire acondicionado de esta capacidad modelo LG CS09AQ Split.

Las especificaciones principales del modelo LG CS09AQ son las siguientes:

Capacidad de refrigeración: 2500 W

Consumo: 545 W

Tasa de deshumidificación: 1.1 l/h

Dimensiones:

Interior (mm): 285x895x210

Exterior (mm): 545x770x288

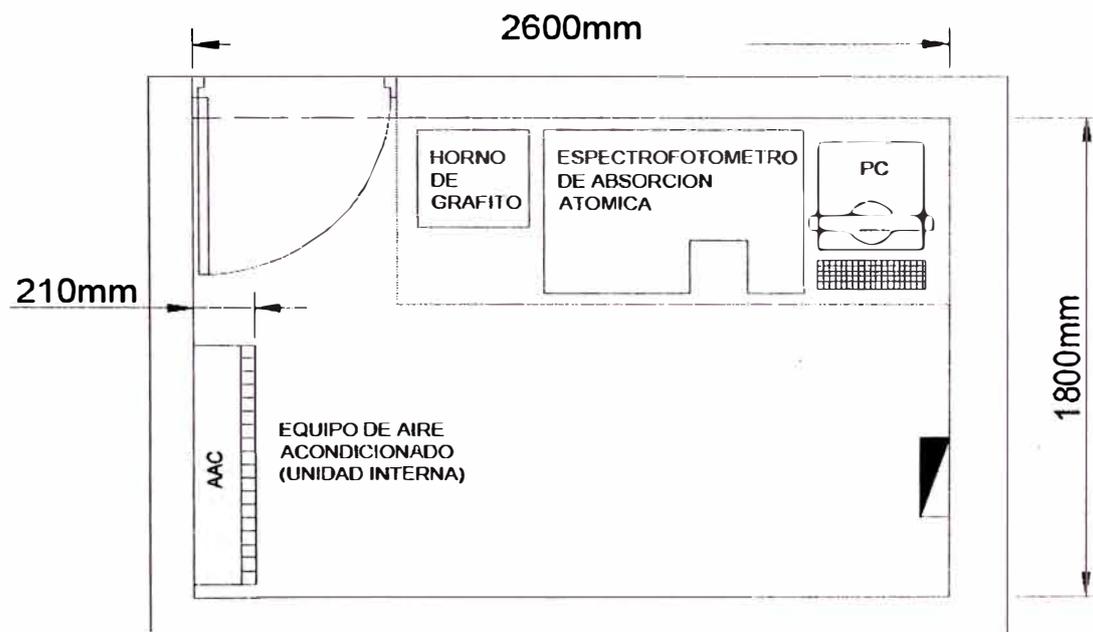


Figura 4.24: Ubicación del equipo de aire acondicionado (unidad interna)

Como puede apreciarse en la Figura 4.2, la salida del aire acondicionado no debe dar directamente al equipo espectrofotómetro, caso contrario afectaría la precisión del mismo.

De acuerdo con el fabricante del equipo espectrofotómetro de absorción atómica las condiciones ambientales deben ser de 10 a 35°C de temperatura y de 8 a 80% de humedad relativa sin condensación. Todas las pruebas en el banco de prueba se realizarán a 25°C y se verificará que la humedad se encuentre dentro del rango utilizando un higrómetro.

4.2. Instalaciones eléctricas

Las instalaciones eléctricas se deberán adecuar a los requerimientos del equipo espectrofotómetro de absorción atómica, el horno de grafito y los equipos accesorios.

Las especificaciones brindadas por el fabricante son las siguientes:

Equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica (AAS)	Voltaje: 220 V +/- 5% Frecuencia: 60Hz Consumo de energía: 500 W
Accesorio Horno de Grafito	Voltaje: 220 V +/- 5% Frecuencia: 60Hz Corriente de consumo (sin carga): 15 A Corriente de consumo (con carga): 40 A
PC de Control (General):	Voltaje: 220 V +/- 5% Frecuencia: 60Hz Consumo de energía: 200 W

Tabla 4.1: Especificaciones del fabricante del Espectrofotómetro

Debido a la importancia y sensibilidad del equipo espectrofotómetro y horno de grafito éstos serán energizados mediante un estabilizador de estado sólido. La capacidad de dicho estabilizador se calcula a continuación:

Consumo AAS + Consumo Horno de Grafito + Consumo PC =

$$500 \text{ W} / 220 \text{ V} + 40 \text{ A} + 200 \text{ W} / 220 \text{ V} = 43.19 \text{ A}$$

$$\text{Consumo (W)} = 43.19 \text{ A} \times 220 \text{ V} = 9.5 \text{ kW}$$

En el mercado nacional encontramos estabilizadores de estado sólido de 12KVA con factor de potencia 0.8, lo cual corresponde a 9.6 kW. Por lo tanto, se utilizará un estabilizador de estado sólido con capacidad de 12 KVA.

El estabilizador de 12KVA deberá contar con un transformador de aislamiento, lo cual permitirá normalizar la línea según la Norma NEC250 que implica contar con un voltaje entre neutro y tierra de 0 voltios, requisito de la mayoría de fabricantes de electrónicos sensibles incluyendo los espectrofotómetros de absorción atómica.

Respecto a los demás equipos accesorios tales como chiller, compresora y extractor de aire, tenemos las siguientes especificaciones brindadas por sus respectivos fabricantes:

Chiller o Intercambiador de calor	Voltaje: 220V Frecuencia: 60Hz Corriente de consumo: 9.2 A
Compresora de aire:	Voltaje: 220V Frecuencia: 60Hz Potencia: 1 HP
Extractor de aire:	Voltaje: 220V Frecuencia: 60Hz Potencia: 0.75 HP

Tabla 4.2: Especificaciones del fabricantes de accesorios

Ya que estos equipos consisten en motores producen ruido eléctrico, por lo que no serán conectados a la línea estabilizada. A continuación calcularemos el consumo de estos equipos:

Consumo Chiller + Consumo compresora + Consumo Extractor =

$$9.2A + (1HP + 0.75HP) * (746 W/HP) / 220V = 15.13A$$

$$\text{Consumo (W)} = 15.13 A \times 220 V = 3.33 \text{ kW}$$

El total de consumo de los equipos y accesorios requeridos en el banco de pruebas es de 12.8 kW. Por lo que el conductor eléctrico de alimentación deberá soportar 60 A, determinando un conductor de calibre 4 AWG, cuya capacidad llega a los 70 amperios.

Tablero eléctrico:

El banco de pruebas deberá contar con un tablero eléctrico exclusivo de 400mm x 300mm x 200mm para dicha área para la protección del sistema, el mismo que deberá contar con lo siguiente:

- Llave termomagnética general del tablero eléctrico de 60 amperios.
- Llave termomagnética de 50 amperios para el Equipo espectrofotómetro, PC de control y Horno de Grafito.
- Llave termomagnética de 15 amperios para el Chiller.
- Llave termomagnética de 15 amperios para el extractor de aire.

- Barra de tierra, aislada con baquelita.
- La sección del conductor proveniente del pozo a tierra hacia el tablero eléctrico exclusivo de absorción atómica será de 25 mm².

En la Figura 4.3 se ilustra un bosquejo del tablero y las llaves termomagnéticas:

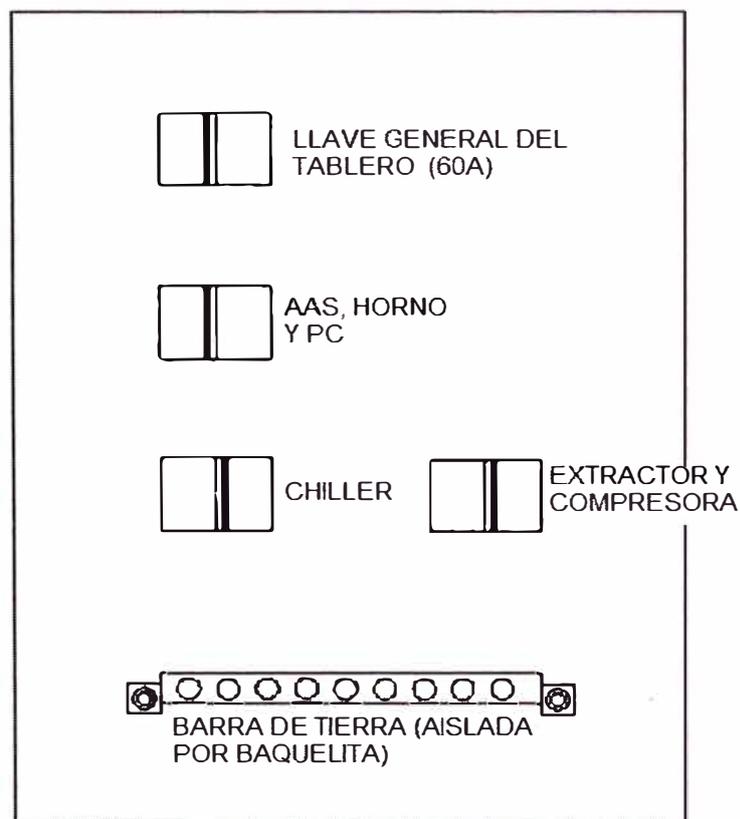


Figura 4.3: Bosquejo de Tablero eléctrico exclusivo para banco de pruebas

Sistema de puesta a tierra:

De acuerdo al Código Nacional de Electricidad – Tomo 1, Capítulo 3, título 3.5.1. inciso c) se considera como requisito mínimo de seguridad contra accidentes eléctricos, la conexión a una toma de tierra de todas las masas de una misma instalación.

De acuerdo al fabricante del Equipo espectrofotómetro y horno de grafito la resistencia del pozo a tierra deberá ser de 4 ohmios o menor.

La instalación del pozo a tierra será de forma vertical realizando un cavado de 3m de profundidad por 1.20m de diámetro, el cual estará aislado con bentonita y relleno con tierra de chacra tratada. Se utilizará cemento conductivo ecológico, conectado a un cable de tierra con un terminal de cobre y sellado con una caja de registro con tapa. Se instalará un cable N° 25mm² cableado de color verde amarillo desde el pozo hasta el tablero eléctrico exclusivo para espectrofotómetro y sus accesorios.

Para la realización del pozo se requerirá lo siguiente:

- 01 Varilla de cobre de 5/8” de diámetro x 2.40 mts de longitud
- 10m de cable desnudo de cobre de 25 mm² (espiral)
- 04 sacos de bentonita.
- 03 bolsas de cemento conductivo
- 01 conector tipo AB

- 02 metros cúbicos de tierra de cultivo
- Abrazadera de cobre de 5/8"
- Pozo de 1.20 mts de diámetro por 3 mts de profundidad.
- Caja de registro.
- Acabado de cemento

En la Figura 4.4 observamos el bosquejo de una instalación de pozo a tierra:

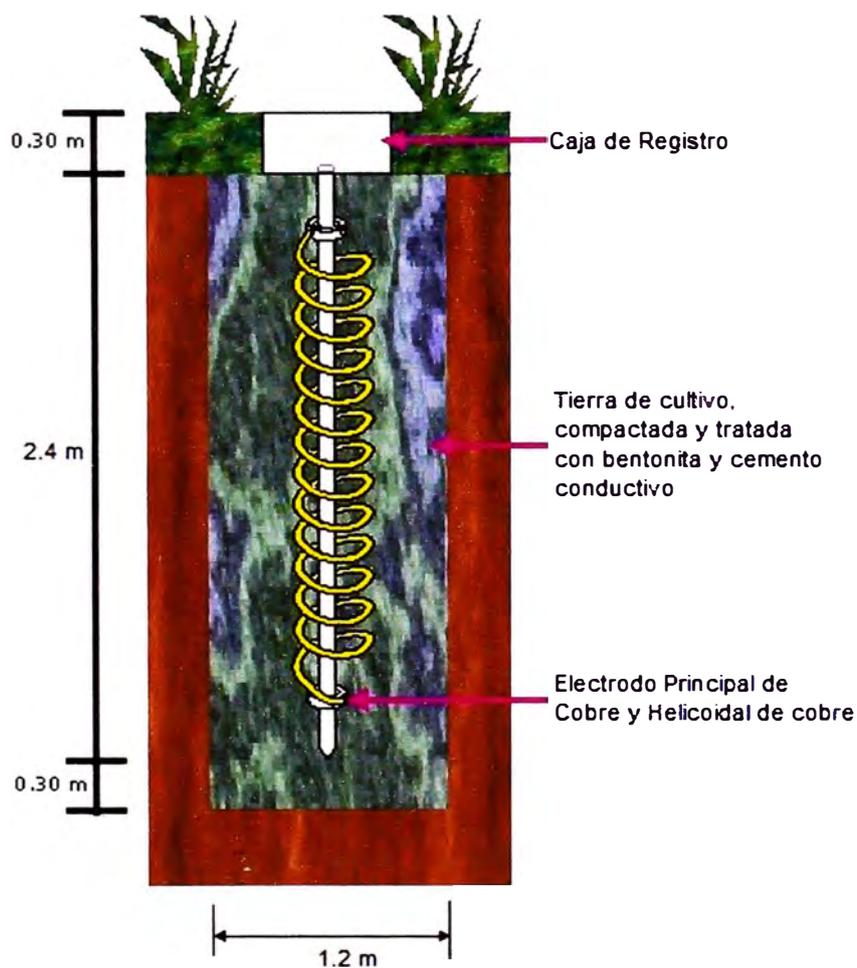


Figura 4.4: Pozo a tierra con helicoideal de cobre 25mm²

A continuación se muestra el diagrama de instalación eléctrica:

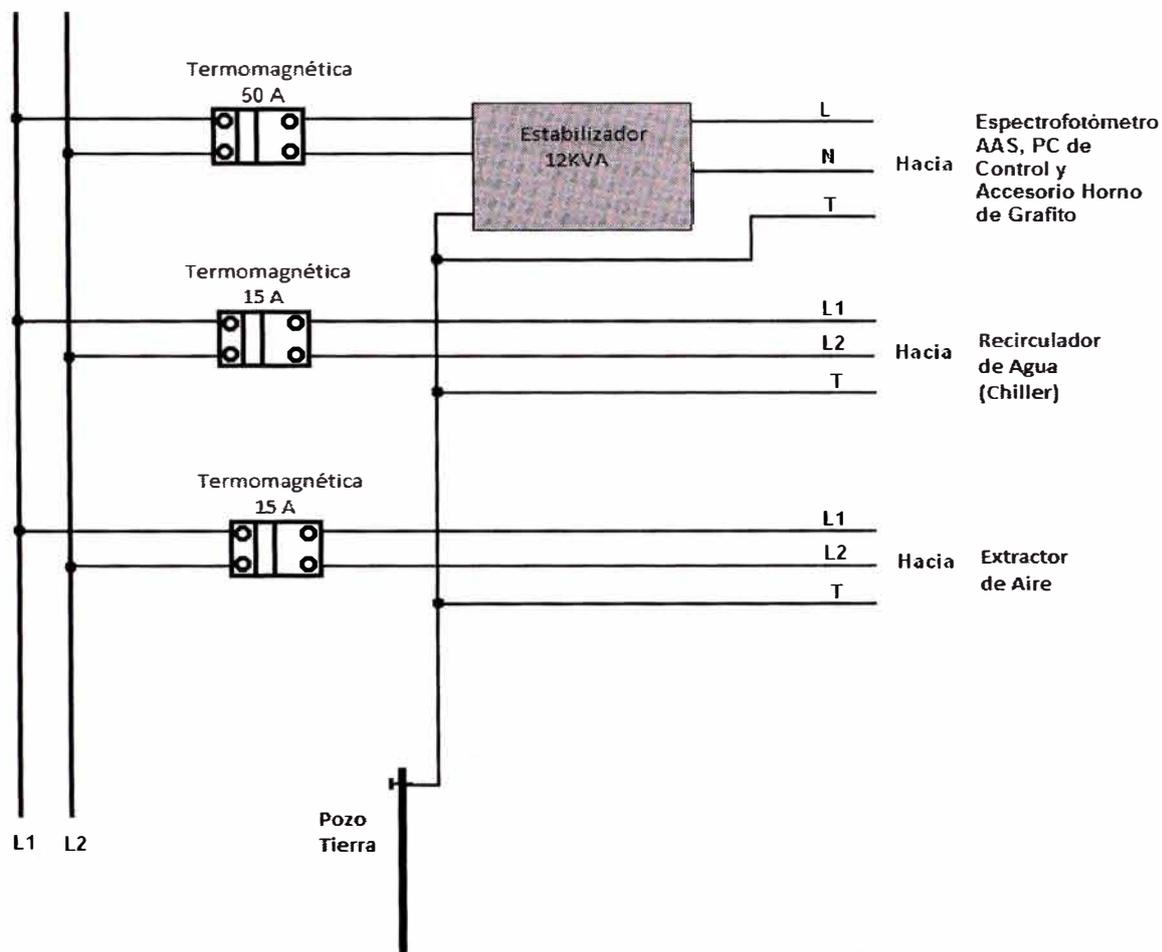


Figura 4.5: Diagrama de instalación de líneas estabilizadas

4.3. Sistema de suministro de gases

Los gases más comúnmente utilizados en espectrofotometría de absorción atómica por método de llama son el acetileno, aire y óxido nitroso. Adicionalmente, para el uso del horno de grafito se utiliza gas argón y nitrógeno.

Las presiones y flujos de trabajo aceptables para el Equipo de acuerdo al fabricante son las siguientes:

		Presión		Mínimo Flujo
		Mínimo	Máximo	
Combustible	Acetileno	55 kPa (8 psi)	96 kPa (14 psi)	12 L/min
Oxidante:	Aire	330 kPa (47 psi)	370 kPa (53 psi)	24 L/min
	Óxido nitroso	330 kPa (47 psi)	370 kPa (53 psi)	24 L/min
Gas Inerte:	Argón	70 kPa (10 psi)	200 kPa (30 psi)	3 L/min
	Nitrógeno	70 kPa (10 psi)	200 kPa (30 psi)	3 L/min

Tabla 4.3: Requerimientos de presión y flujo

Se deberá contar con cinco líneas de gases desde el Panel de Alta al Punto de uso en el banco de pruebas utilizando tubería de acero inoxidable 316L de ¼" para facilitar su limpieza y reducir el riesgo de liberación de partículas extrañas hacia el flujo de gas (conservación de pureza).

Las purezas requeridas de los gases para Espectrofotometría de Absorción Atómica se muestran en la Tabla 4.4.

Óxido Nitroso (Grado Instrumental)	Nitrógeno	> 99.5%
	Oxígeno	< 0.1% (fase líquida)
	Nitrógeno	< 0.4% (fase líquida)
	Humedad	< 100ppm
Nitrógeno (Alta pureza O.F.N.)	Nitrógeno	99.99% mínimo
	Oxígeno	
	Metano	
	Humedad a 15°C	
Acetileno (Grado Instrumental) (Especialmente purificado)	Acetileno	99.99% mínimo en base libre de acetona
	Argón	99.99% mínimo
Argón	Oxígeno	< 10 ppm
	Nitrógeno	< 50 ppm
	Dióxido de carbono	< 5 ppm
	Monóxido de carbono	< 1 ppm
	Hidrocarburos como CH	< 1 ppm
	Hidrógeno	< 1 ppm
	Humedad	< 12 ppm a presión full del cilindro

Tabla 4.4: Requerimientos de pureza en los gases

En el caso del aire, éste será suministrado por una compresora de potencia 1HP y libre de aceite, conocida como compresora “seca”, la cual deberá configurarse para mantener una presión igual o mayor de 47 psi. El aire pasará previamente por una unidad purificadora marca PARKER BALSTON®, diseñado para Espectrofotómetros.

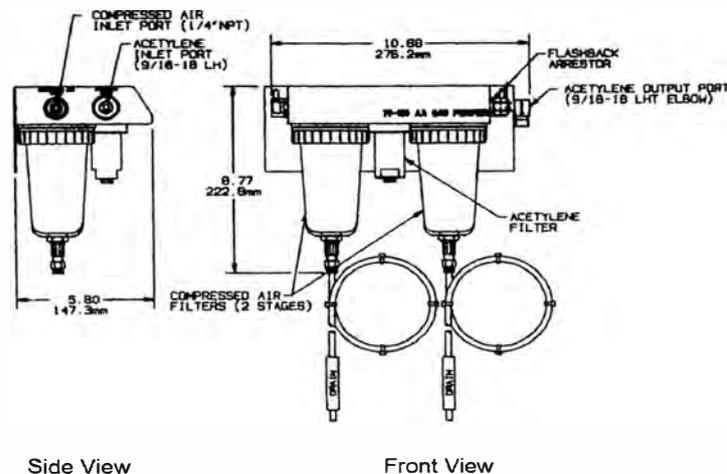


Figura 4.6: Purificador de gas Parker Balston 73-100 AA - Dimensiones

La unidad purificadora consiste de dos etapas de filtración de aire, la primera etapa es un filtro coalescente de grado DX seguido por un filtro coalescente de grado BX los cuales juntos removerán aceite, agua y contaminación por partículas hasta 0.01 micras del suministro de aire. Los filtros poseen flotadores de drenaje los cuales abren automáticamente para eliminar líquidos acumulados en el interior de la caja del filtro. Los conectores de salida y entrada son de ¼” NPT hembra.

La unidad purificadora además de purificar el aire también posee un filtro de acetileno de grado BQ y un flashback arrestor. El filtro removerá los contaminantes líquidos y sólidos del acetileno a <1ppm. El flashback arrestor prevendrá el retorno de una flama del quemador del Equipo AAS a los tanques de acetileno. Los conectores de salida y entrada son de 9/16”-18LH.

En el caso de los demás gases, estos serán suministrados en cilindros de alta presión por empresas proveedoras de gases especiales.

Localización de los balones de gas

Los balones de gas deberán ser instalados fuera del área del banco de pruebas por medidas de seguridad. Se mantendrán en un área de condición no combustible y serán protegidos contra daños físicos. Todos los cilindros deberán ser encadenados y anclados con cadenas para mayor seguridad de los usuarios.

El ambiente exclusivo para instalar los balones estará de acuerdo a lo siguiente:

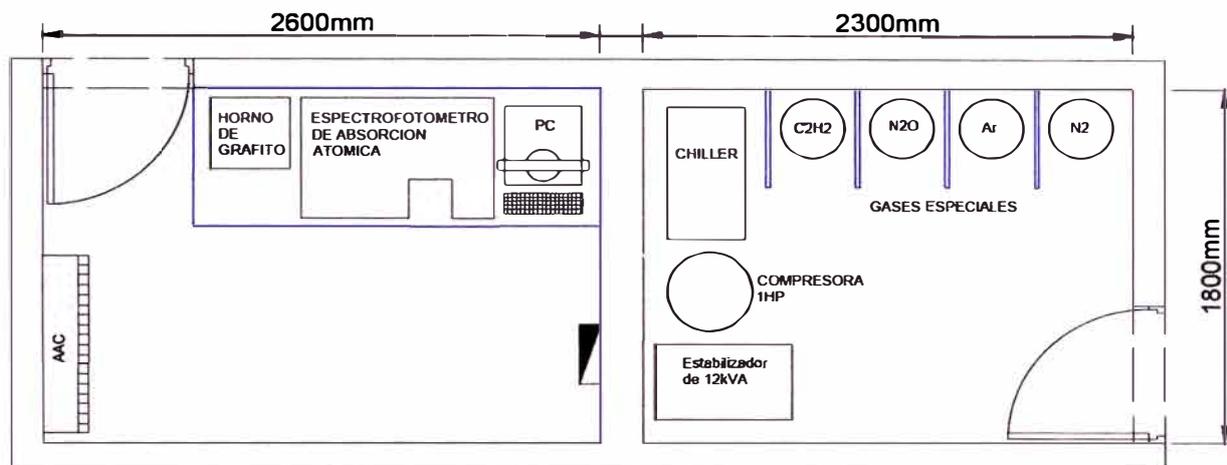


Figura 4.7: Posición de cilindros de gases especiales para AAS

Centrales de control de gases

Las centrales reducirán la alta presión primaria de los cilindros a presiones secundarias manejables e incluirán un sistema de purga que permita limpiar las líneas entre los cilindros y los reguladores de alta presión evitando así la contaminación de los equipos del banco de pruebas con aire atmosférico.

Permitirán la conexión del cilindro de gas y la conducción del mismo hasta el punto de uso. Los materiales utilizados serán componentes metálicos - Acero Inoxidable 316L, para asegurar la pureza del gas hasta el punto de uso. Para cada gas se contará con lo siguiente:

- 01 Und. – Panel de Alta de Acero Inoxidable (con regulador de Una Etapa).
- 01 Und. - Panel de punto de uso (con regulador de línea)
- Línea de Acero Inoxidable 316L de ¼” del Panel de Alta al Punto de Uso.
- Conexiones de compresión marca Swagelok de acero calidad 316L.

Solo en el caso del Óxido Nitroso se instalará una unidad de calentamiento de gas, lo que permitirá contar con un flujo constante.



Figura 4.8: Reguladores de línea en punto de uso

Estos manómetros en línea permitirán reducir el riesgo de accidentes ya que solamente equipos de baja presión y pequeñas cantidades de gases están presentes en el lugar de trabajo. Estos manómetros en línea deberán estar correctamente identificados.

4.4. Sistema extracción de humos y gases residuales

Los requerimientos de extracción de humos y gases residuales se aplica a todos los Equipos de Absorción Atómica. Se instalará un sistema de extracción sobre el quemador, para ventilar los productos de la combustión y gases corrosivos hacia fuera del banco de pruebas. El fabricante recomienda un flujo mínimo de $6\text{m}^3/\text{min}$, esto se logrará utilizando un motor de 0.5 HP y un damper para regular el flujo evitando corrientes bruscas y causar el apagado de la llama.

Los ductos que se utilizarán serán de 150mm de diámetro y de material acero inoxidable de calidad 316-2B (acero comercial). La campana extractora se instalará a 50mm del quemador y se considerarán las siguientes dimensiones para su instalación:

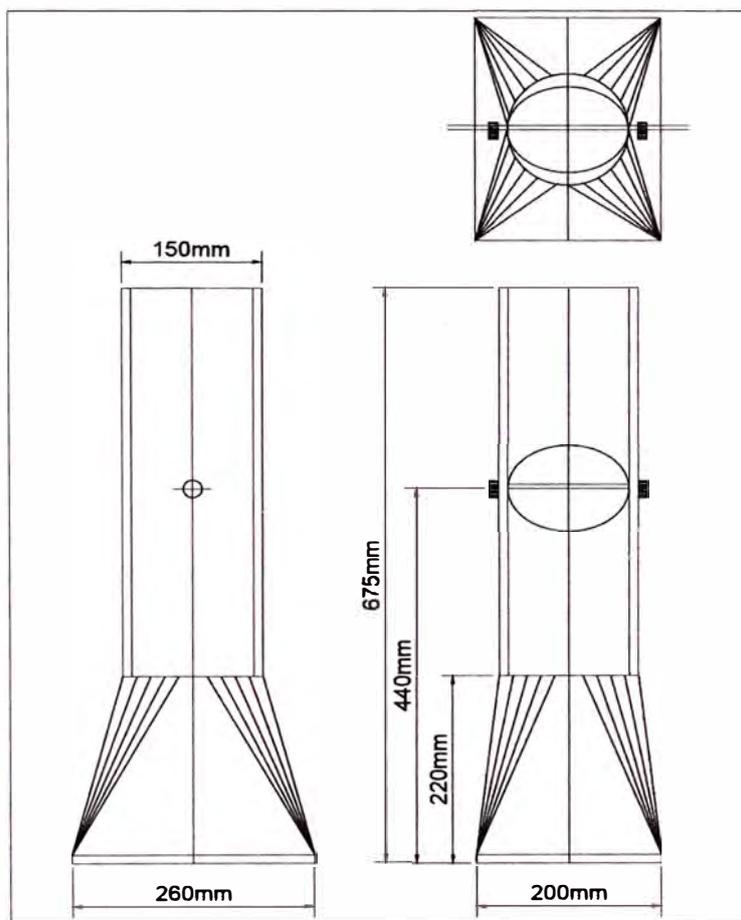


Figura 4.9: Medidas de campana extractora

El motor extractor se instalará en el techo e irá conectado y su salida estará protegido por un sombrero chino que evite el ingreso de agua en caso de lluvia. A continuación se muestra el recorrido de la tubería y motor extractor.

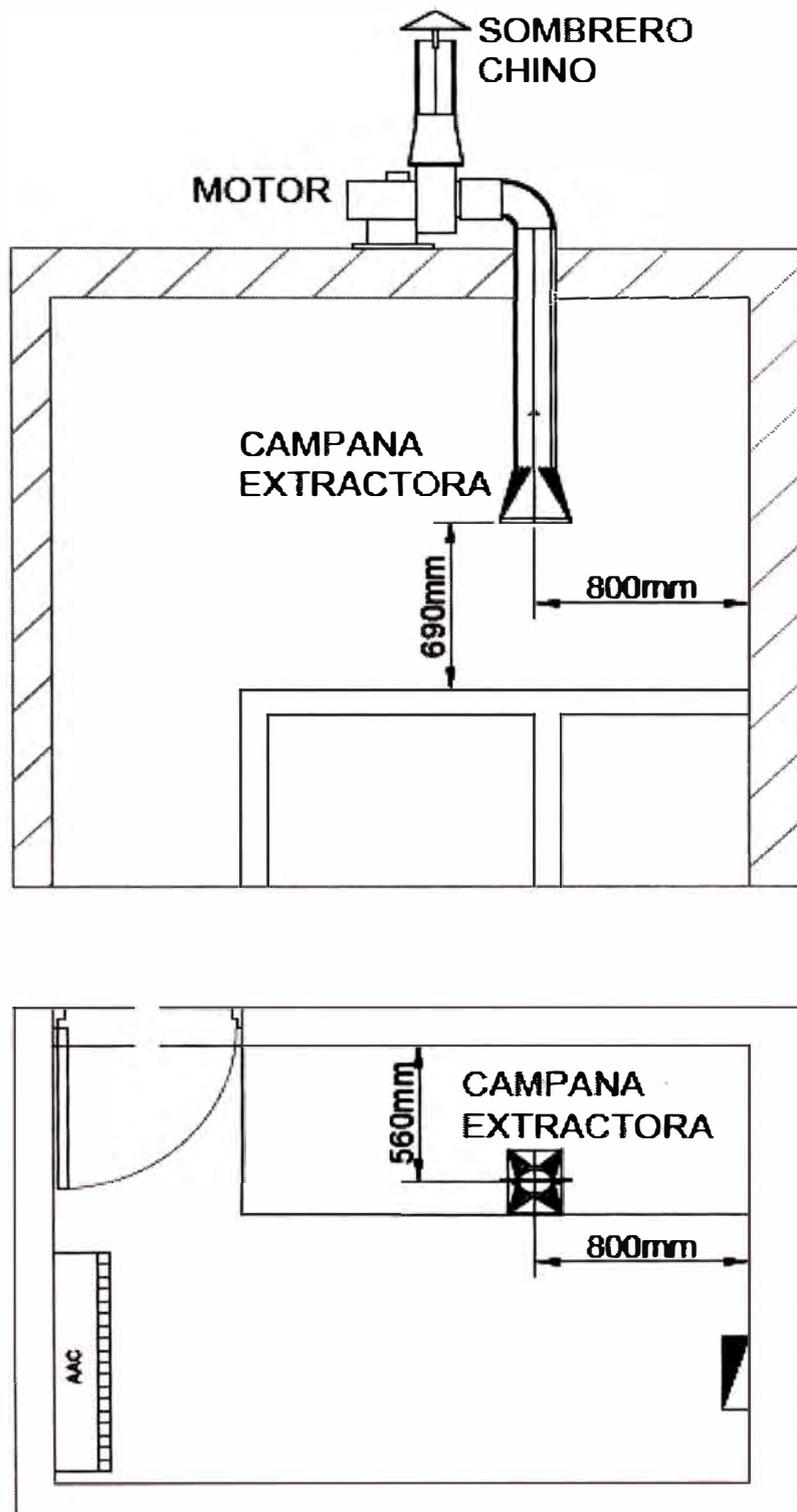


Figura 4.10: Vista frontal y de planta – Instalación campana extractora

4.5. Instalaciones del sistema de recirculación y enfriamiento de agua

El sistema de recirculación y enfriamiento de agua es requerido por el accesorio horno de grafito debido a que para realizar lecturas de muestras en concentraciones muy bajas (en el orden de ppb y ppt), ésta se atomiza en el grafito a temperaturas de hasta 5,000 °C.

De acuerdo al fabricante, el sistema de enfriamiento debe poder proporcionar lo siguiente:

- Flujo de agua de 0.6 L/min a una presión de 200 kPa (28 psi) como mínimo para enfriar el cabezal del horno de grafito.
- Temperatura del agua para enfriamiento no debe superar los 40 °C.
- Capacidad de enfriamiento de 950 Watts (817 kcal/hr)

Para conseguir estas condiciones se utilizará un Chiller con capacidad de enfriamiento de 1200 Watts por ser comercial en el mercado peruano.

El chiller deberá contar con una bomba de desplazamiento positivo para poder ajustar la presión a lo recomendado por el fabricante (200kPa).

El rango de temperatura de trabajo del chiller es de +5 °C to +35 °C, con una estabilidad de 1.0 °C y con una capacidad de 1.5 L/min.

Debido al ruido generado por el Chiller, éste se instalará en otro ambiente y utilizando tubería de PVC de 1/2" de diámetro se llevará el agua al horno de grafito previamente enfriada, tal como se muestra a continuación:

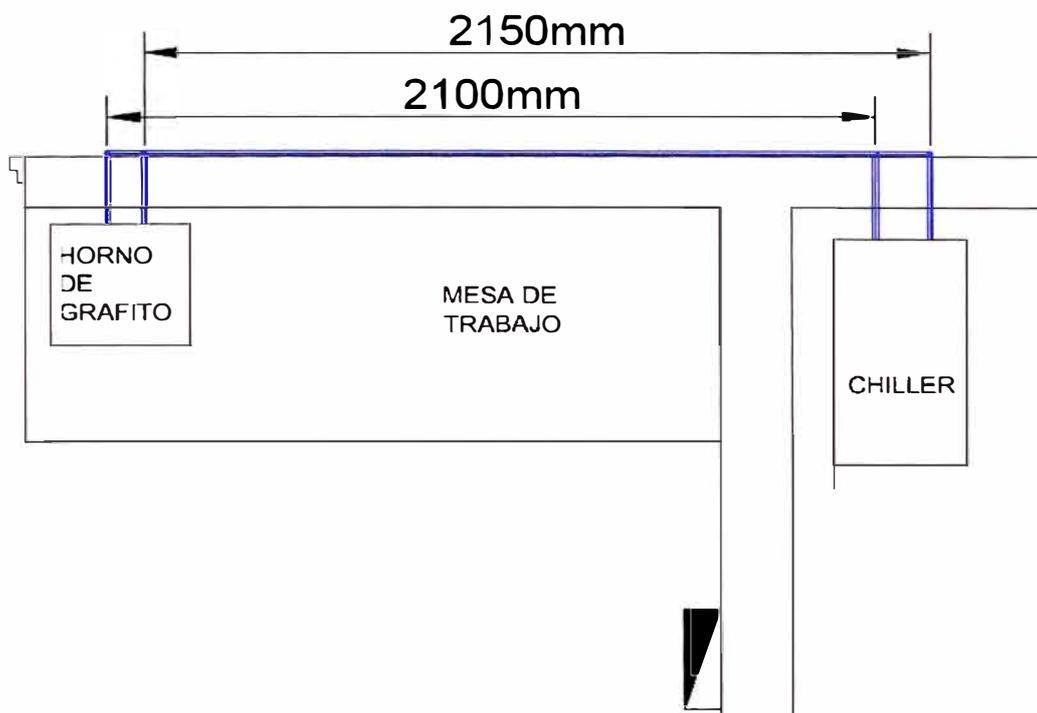


Figura 4.11: Vista de planta – tubería para Chiller

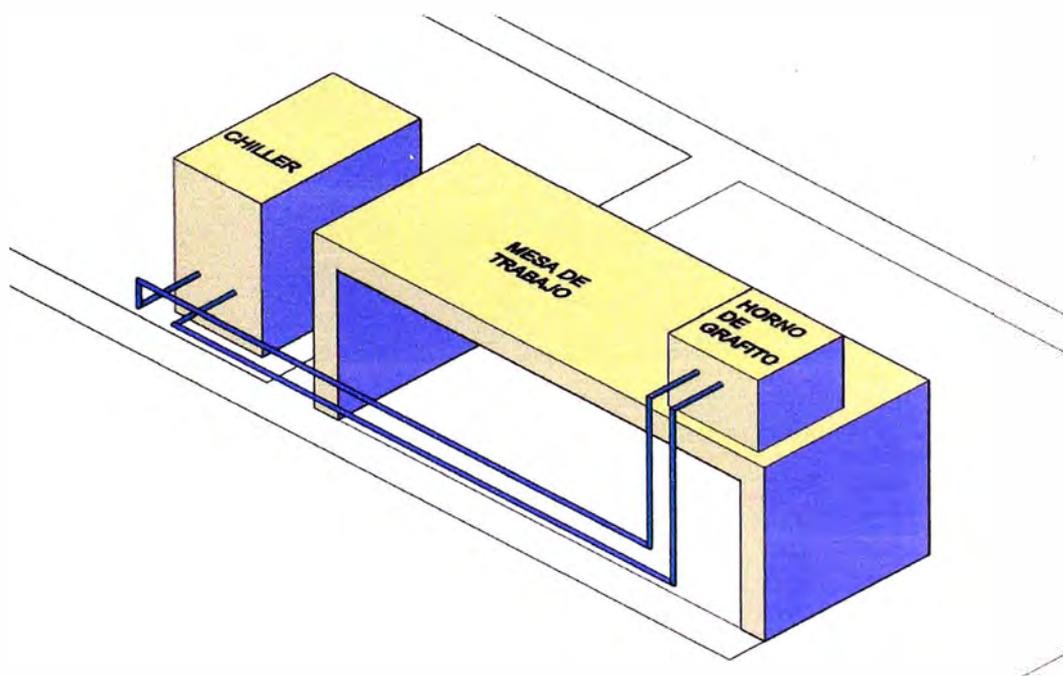


Figura 4.12: Vista posterior – tubería para Chiller

CAPÍTULO 5

COSTOS

5.1. Costos Directos

En la siguiente relación podemos apreciar los costos directos para la realización del banco de pruebas de un espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Descripción	Costo USD
Obras civiles	\$6,500.00
Equipo de aire acondicionado	\$1,000.00
Compresora de aire libre de aceite	\$1,500.00
Chiller para horno de grafito	\$1,400.00
Sistema de Extracción de gases	\$1,500.00
Sistema Purificador de aire (5.0um y 1.0um)	\$1,200.00
Reguladores de gas acetileno y argón	\$1,500.00
Computadora de Control del Equipo	\$1,000.00
Estabilizador (estado sólido) de 12 KVA con transformador de aislamiento	\$3,000.00
Pozo a tierra	\$1,000.00
Línea de gases acetileno, argón y óxido nitroso (acero inoxidable)	\$7,500.00
Solución Estándar de Cobre y Cesio	\$150.00
Lámparas de Cátodo Hueco del elemento Cobre y Cesio	\$1,800.00
Material de vidrio para preparación de estándares	\$400.00
Kit de alineamiento de la óptica de Espectrofotómetro	\$3,000.00
Rejillas de absorbancia para 0.45 Abs y 0.9 Abs trazables a NIST (Patrón de referencia para calibración)	\$5,000.00
Total Costos Directos (Dólares Americanos)	\$37,450.00

5.2. Costos Indirectos

Descripción	Costo USD
Materiales y herramientas para instalaciones	\$1,000.00
Gastos logísticos	\$1,500.00
Certificación de Calidad ISO 9001	\$3,000.00
Total Costos Indirectos (Dólares americanos)	\$5,500.00

5.3. Resumen de Costos

Descripción	Costo USD
Costos directos	\$37,450.00
Costos indirectos	\$5,500.00
Total Costos (Dólares Americanos)	\$42,950.00

CONCLUSIONES

1. El presente informe permite la implementación del banco de pruebas para Espectrofotómetro de Absorción Atómica con Horno de grafito.
2. El banco de pruebas implementado permitirá realizar controles de calidad de los equipos nuevos recientemente importados por la empresa proveedora.
3. Es posible dar servicios a clientes en la detección e identificación de fallas de los equipos debido a sus propias instalaciones; trasladándolos al banco de pruebas propuesto.
4. También podrán detectarse defectos de fábrica en los equipos y accesorios en el banco de pruebas propuesto para atenderlos y corregirlos con la garantía debida.

RECOMENDACIONES

1. Tomar en cuenta las diferencias en los requerimientos que pueden existir en los equipos y accesorios de diversos fabricantes.
2. En sectores del Perú donde existen fallas de energía frecuentes es recomendable utilizar un UPS- True Online.
3. Se debe realizar mediciones periódicas del pozo a tierra correspondiente al Equipo y corregir en caso no se cumpla con la condición mínima requerida por el fabricante.
4. Utilizar compresoras sin aceite es recomendable para evitar la contaminación y el deterioro de los equipos Espectrofotómetros.

BIBLIOGRAFÍA

- NTP-ISO/IEC 17025:2001, Requisitos Generales para la Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración, 1era Edición.
- ASHRAE 1999 HVAC Applications Handbook (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers) – Capítulo de Laboratorios.
- Guía de selección de Aire Acondicionado on-line de la Compañía internacional FPL (Florida Power & Light), <http://www.fpl.com/spanish/>
- Avanta Series AAS - Service Manual, GBC Scientific Equipment Pty Ltd, Edición Mayo 1996.
- Descripción de Chillers, <http://www.polyscience.com/es/indust/>
- LG airconditioning engineering product data book, Edición Febrero-2008.
- ANSI B31.2 – (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE), Industrial Air and Gas Piping.
- ANSI B31.8 – (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE), Gas Transmission and Distribution.
- Imágenes de diferentes dispositivos extraídos de www.google.com.pe

ANEXOS

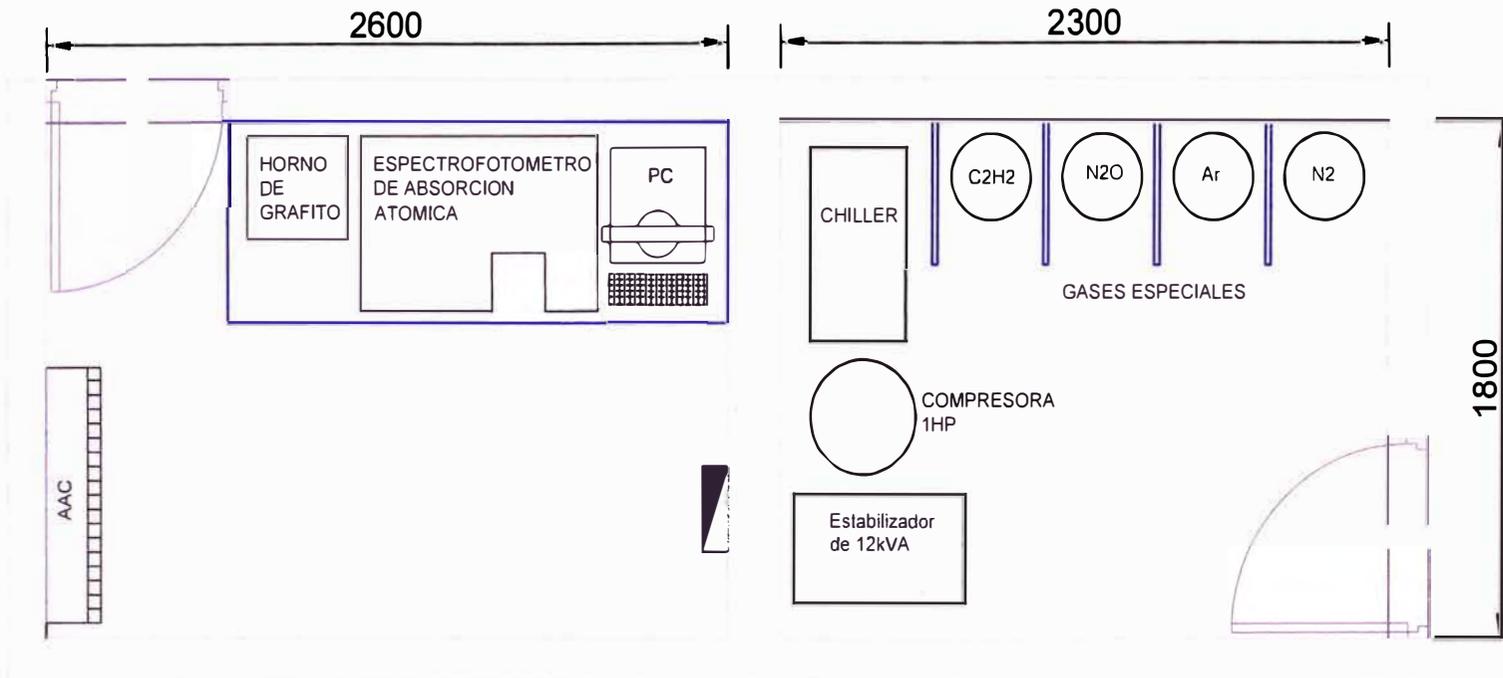
LÍMITES DE DETECCIÓN TÍPICOS

Element	Flame AAS ppm (µg/mL)	Graphite Furnace AAS (Deuterium B/C) ppb (µg/L)
Ag	0.002	0.025
Al	0.03	0.05
As	0.2	1
Au	0.01	0.5
B	0.5	75
Ba	0.01	0.2
Be	0.001	0.1
Bi	0.04	0.5
Br		
C		
Ca	0.0005	0.05
Cd	0.0004	0.015
Ce	-	
Cl	0.03	
Co	0.004	0.10
Cr	0.003	0.05
Cs	0.004	1
Cu	0.001	0.1
Dy	0.03	5
Er	0.03	10
Eu	0.02	2.5
Fe	0.005	0.1
Ga	0.06	2.5
Gd	2.0	
Ge	0.2	
Hf	2.0	
Hg	0.15	10
Ho	0.04	
I		
In	0.04	5
Ir	0.4	
K	0.003	0.05
La	2.0	
Li	0.002	0.5
Lu	0.3	

LÍMITES DE DETECCIÓN TÍPICOS
(CONTINUACIÓN)

Element	Flame AAS ppm (µg/mL)	Graphite Furnace AAS (Deuterium B/C) ppb (µg/L)
Mg	0.00003	0.02
Mn	0.0015	0.05
Mo	0.02	0.1
Na	0.0002	0.025
Nb	2.0	
Nd	1.0	
Ni	0.09	0.5
Os	0.1	
P	40	150
Pb	0.01	0.25
Pd	0.01	1.5
Pr	6.0	
Pt	0.1	1
Rb	0.007	0.25
Re	0.6	
Rh	0.004	
Ru	0.06	1
S	-	
Sb	0.04	0.75
Sc	0.04	
Se	0.5	2.5
Si	0.1	0.5
Sm	1.0	
Sn	0.03	1
Sr	0.002	0.5
Ta	2.0	
Tb	0.5	0.5
Te	0.02	0.5
Th		
Ti	0.07	2.5
Tl	0.02	0.5
Tm	0.9	
U	40	
V	0.05	1
W	1.0	
Y	0.2	
Yb	0.004	
Zn	0.0005	0.005
Zr	1.0	

PLANOS



A MENOS QUE SEA
ESPECIFICADO
LAS DIMENSIONES ESTAN EN
MILIMETROS

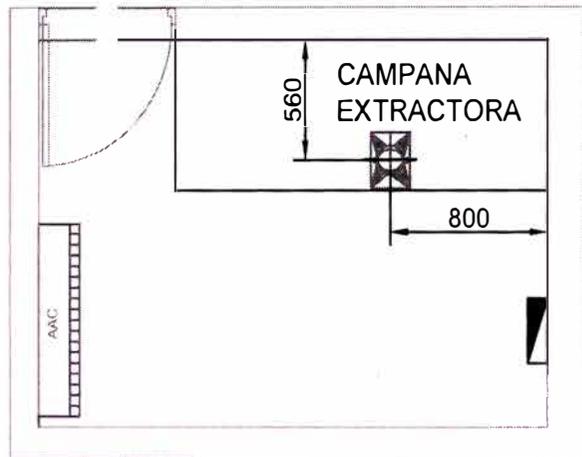
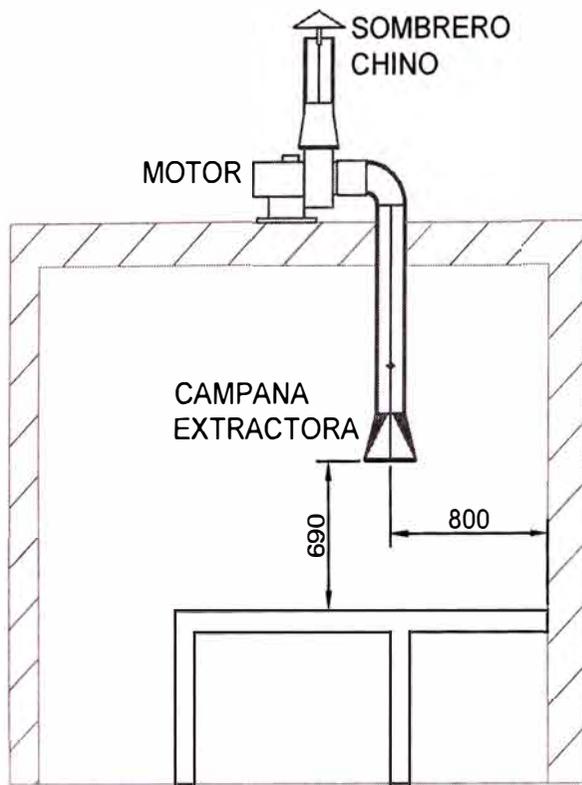
NOMBRE

AMBIENTE - CASETA DE
GASES Y COMPRESORA

A4

ESCALA: 1:30

SHEET 1 OF 1



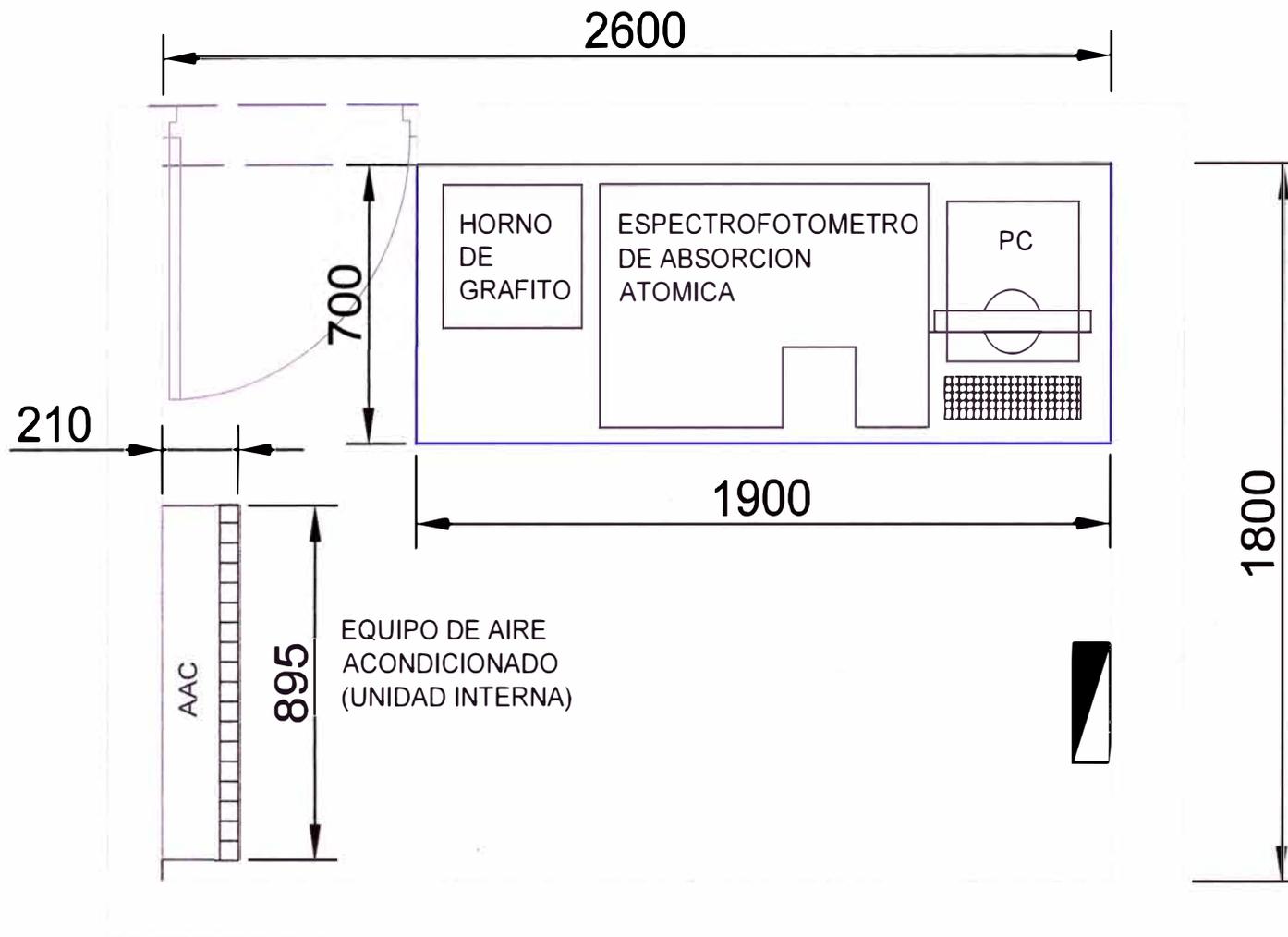
A MENOS QUE SEA
ESPECIFICADO
LAS DIMENSIONES ESTAN EN
MILIMETROS

NOMBRE:
**UBICACION CAMPANA
EXTRACTORA DE GASES**

A4

ESCALA: 1:40

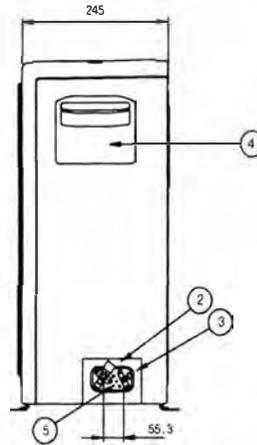
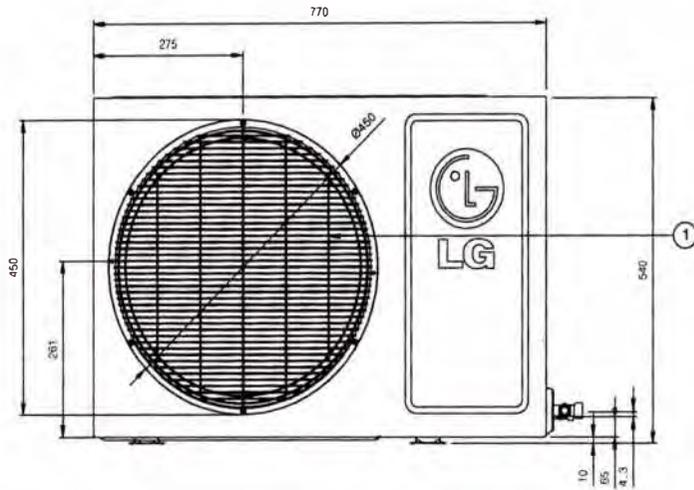
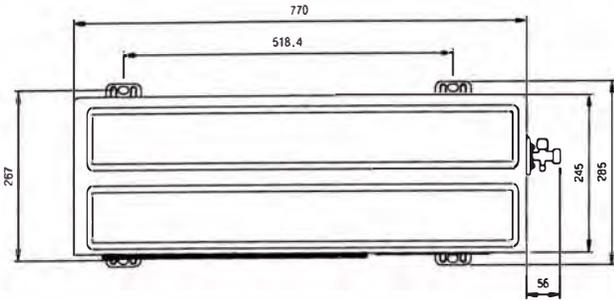
SHEET 1 OF 1



<p>A MENOS QUE SEA ESPECIFICADO LAS DIMENSIONES ESTAN EN MILIMETROS</p>	<p>NOMBRE</p> <p>AMBIENTE DE BANCO DE PRUEBAS</p>	<p>A4</p>
	<p>ESCALA: 1:20</p>	



Outdoor Unit



Item No	Part Name	Remark
1	Air Discharge Grille	
2	Gas Pipe Connection Port	
3	Liquid Pipe Connection Port	
4	Control Box	
5	Earth Screw	

Note

1. The unit is not allowed to be installed in closed area.
2. In an area or a space having no proper air circulation, an air guide should be installed in the outdoor unit.

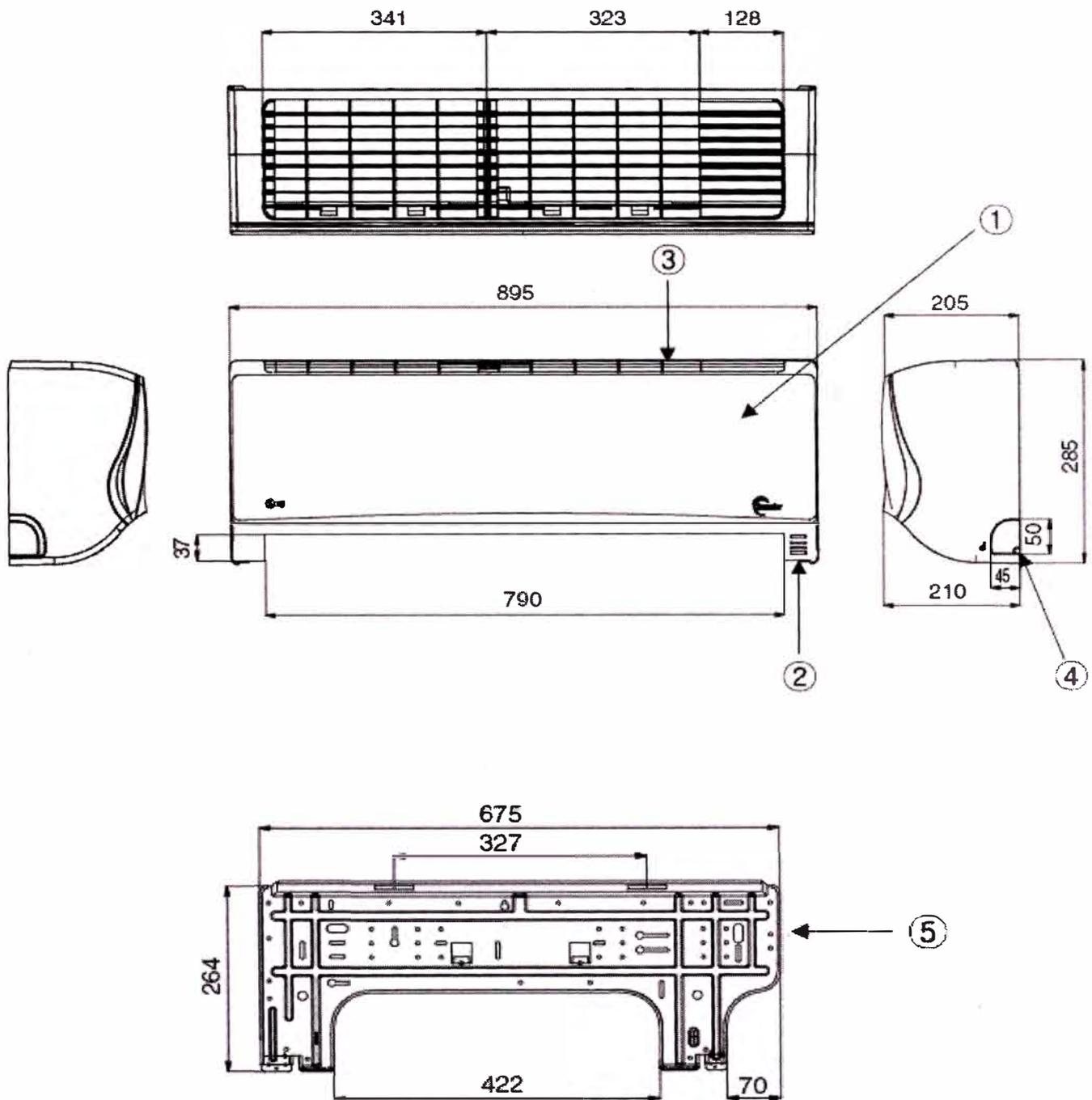


www.lge.com/airconditioner

76, Seongsan-dong, Changwon City, Gyeongnam,
641-713, Korea
TEL : 82-55-269-3506

TOOL CODE : UL

SCHEMA DIMENSIONALE UNITA' INTERNA



1	Pannello frontale
2	Comandi
3	Deflettori laterali
4	Pre-tranciati tubazioni
5	Piastra

